

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Departamento de Ingeniería Química y de Materiales



TESIS DOCTORAL

Desarrollo de las técnicas forenses nucleares: valoración de riesgos

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Julio Serrano Checa

Director

Javier Quiñones Díez

Madrid

Ed. electrónica 2019



Desarrollo de las técnicas forenses nucleares: valoración de riesgos.

TESIS DOCTORAL
Julio Serrano Checa

Madrid, marzo de 2019



Desarrollo de las técnicas forenses nucleares: valoración de riesgos.

TESIS DOCTORAL
Julio Serrano Checa

Director:
Dr. Javier Quiñones Díez

Madrid, marzo de 2019

*A mi mujer, Pino, y a mis hijos
Luis, Julio y Gonzalo, mi mayor
alegría.*

Agradecimientos

Debo iniciar estas líneas agradeciendo a mi familia el apoyo y, sobre todo, el tiempo que me han regalado para dedicarlo a este trabajo doctoral. Siempre tengo la sensación de que les estoy robando parte del tiempo que les pertenece para dedicarlo a mis actividades profesionales y, considerando que el tiempo es algo que una vez se va no puede recuperarse, por lo menos sí me gustaría dejar constancia de que les estoy muy agradecido por habérmelo prestado. En cierta medida por tanto, ellos son coautores de este trabajo.

También debo agradecer a mi otra familia, la Guardia Civil, el apoyo recibido durante la realización de esta tesis. Tanto desde la JUER, especialmente la UT-NRBQ, como desde el Servicio de Criminalística, he recibido un apoyo total sin el que habría sido imposible llegar a buen puerto. Por obvias razones de seguridad y con el fin de no cometer el imperdonable error de olvidarme de alguno de ellos, no los voy a nombrar, pero soy plenamente consciente del esfuerzo que han dedicado en los departamentos de Identificación y Biología; lo que tiene una especial relevancia si se tiene en cuenta la gran carga de trabajo que soportan a diario y que les ha obligado a sacar tiempo de donde no lo había para dedicármelo a mí, atendiendo con paciencia mis peticiones y resolviendo mis múltiples dudas. La Cartilla del Guardia Civil recoge que *“..sí algo debe esperar de aquel a quien ha favorecido, deber ser solo un recuerdo de gratitud.”* He aquí el reflejo de mi recuerdo y gratitud, y espero que ese esfuerzo quede recompensado si de las conclusiones y recomendaciones que se exponen en esta tesis se pueden sacar algunas ideas que permitan optimizar su trabajo y especialmente evitarles asumir riesgos innecesarios.

Dejo para el final mi agradecimiento más profundo y entrañable a mi director de tesis, mi amigo, Javier Quiñones. En primer lugar por animarme a embarcarme en esta aventura, ya que sin su apoyo nunca lo hubiera intentado; y luego por su experta dirección, orientándome sobre la mejor manera de enfocar el trabajo, discutiendo todos los aspectos y exprimiendo al máximo la información disponible para obtener conclusiones. Ha sido un verdadero placer trabajar con él. Este sincero agradecimiento debo hacerlo extensivo a todo el personal del CIEMAT que de una u otra manera se han visto involucrados en este trabajo y, muy especialmente, a Marta, que me ha transmitido su ilusión y bien hacer para realizar esta tesis doctoral.

A todos ellos muchas gracias.

Índice.

Summary.....	xi
Introduction.....	xi
Objectives.....	xi
Experimental procedure.....	xii
DNA procedure.....	xii
Fingerprints procedure.....	xiii
Results and discussion.....	xiii
DNA study results.....	xiii
Fingerprints study results.....	xiv
Conclusions.....	xiv
Resumen.....	xv
Introducción.....	xv
Objetivo.....	xv
Procedimiento experimental.....	xvi
Procedimiento: ADN.....	xvi
Procedimiento: Huellas dactilares.....	xvii
Resultados y discusión.....	xvii
Resultados del estudio del ADN.....	xvii
Resultados del estudio de las huellas dactilares.....	xviii
Conclusiones.....	xviii
1. Objetivos.....	1
2. Introducción.....	3
2.1 La amenaza terrorista.....	4
2.1.1 Empleo terrorista de artefactos nucleares y radiológicos.....	7
2.2 Gestión de crisis.....	14
2.3 Actuación en emergencia.....	15
2.3.1 La necesidad de técnicas forenses nucleares en las fuerzas de seguridad.....	15
2.3.2 Actuación ante un acto delictivo con material NRBQ.....	17
2.3.2.1 Recepción de la noticia (Detección).....	18
2.3.2.2 Primeros intervinientes (fase de verificación).....	19
2.3.2.3 Unidades especializadas (fase de gestión).....	20
2.3.2.4 Intervención en la zona contaminada (gestión).....	22
2.4 Técnicas forenses.....	23
2.4.1 Inspección técnica ocular. Análisis organoléptico.....	25
2.4.2 Reseña.....	30
2.4.2.1 El ADN.....	30
2.4.2.1.1 El ADN como elemento identificador.....	30
2.4.2.1.2 Aspectos normativos de la tramitación de la prueba de ADN.....	35
2.4.2.1.3 Banco de datos de ADN.....	36
2.4.2.2 Huellas dactilares.....	39
2.4.2.2.1 Proceso de Identificación lofoscópico.....	41
2.5 Influencia de la radiación en las evidencias forenses.....	44
2.5.1 Daños en el ADN inducidos por radiación.....	46
2.5.2 Daños en las huellas digitales.....	48
3. Procedimiento experimental.....	51
3.1 Toma de evidencias forenses.....	51
3.1.1 ADN.....	52
3.1.1.1 Extracción de sangre.....	54
3.1.1.2 Muestras de saliva.....	55
3.1.1.3 Muestras de piel.....	56
3.1.2 Tipos de huellas dactilares.....	58
3.1.2.1 Impresión de muestras.....	59
3.2 Técnicas experimentales.....	61
3.2.1 Análisis del ADN.....	62
3.2.1.1 Determinación del Perfil genético.....	62
3.2.1.1.1 Aislamiento/extracción de ADN.....	63
3.2.1.1.2 Cuantificación de ADN.....	64
3.2.1.1.3 Amplificación de ADN.....	66
3.2.1.1.4 Separación de fragmentos de ADN.....	68

3.2.1.2 Interpretación del análisis.....	71
3.2.2 Revelado de las huellas dactilares.....	72
3.2.2.1 DFO.....	73
3.2.2.2 Cianocrilato.....	73
3.3 Traslado de muestras e irradiación. Ensayos NAYADE.....	74
4. Resultados y discusión.....	79
4.1 Resistencia del ADN a la radiación ionizante.....	79
4.1.1 Electroferograma de referencia.....	79
4.1.2 Evidencias de sangre.....	83
4.1.3 Evidencias de saliva.....	91
4.1.4 Evidencias con células epiteliales.....	97
4.1.4.1 Llaves.....	98
4.1.4.2 Tapones con mezcla de ADN.....	101
4.1.4.3 Tapones – 2ª verificación.....	103
4.1.4.4 Discusión conjunta de los resultados.....	107
4.1.5 Evaluación y discusión conjunta de los resultados.....	109
4.2 Resistencia de las huellas dactilares a la radiación.....	114
4.3 Aplicación de los resultados obtenidos. Caso práctico.....	121
4.3.1 Descripción general del TTX – REMEX 13.....	122
4.3.1.1 Condiciones del ejercicio.....	123
4.3.1.2 Efectos.....	124
4.3.1.2.1 Caso 1. Término fuente de 37 TBq (<>1000 Ci).....	124
4.3.1.2.2 Caso 2. Término fuente de 10 TBq (<> 270 Ci).....	124
4.3.1.3 Parámetros de utilidad para clasificar el escenario radiológico.....	125
4.3.2 Actuación de la Guardia Civil (Guardia Civil 2015).....	128
4.3.2.1 Actuación inmediata tras la explosión. H a H+1.....	128
4.3.2.2 Valoración de la situación. H+1.....	129
4.3.2.3 Intervención. H+2.....	132
4.3.2.4 Investigación del suceso.....	133
5. Conclusiones.....	137
6. Actividades futuras.....	139
7. Bibliografía.....	141
Anexos.....	I

Índice de tablas

Tabla I. Resistencia a la radiación de las huellas dactilares en función del material del sustrato y de la dosis total absorbida. Verde (se revela huella de calidad); amarillo (huella de baja claridad con zonas borrosas) y rojo (ausencia de huella).	xviii
Tabla II. Clasificación de las fuentes radiactivas según la OIEA (OIEA 2005).....	10
Tabla III. Clasificación de zonas para la respuesta en función del incidente producido.....	22
Tabla IV. Fases de actuación establecidas en la inspección ocular según INTERPOL (OIEA 2014).	27
Tabla V. Concentración de ADN en evidencias forenses (Butler, Forensic DNA typing 2005). En la columna de la derecha se normalizan los valores.	54
Tabla VI. Marcadores STR empleados por distintas agencias. En color negro los marcadores comunes, en azul los exclusivos ESS, en rojo los exclusivos CODIS y en verde los añadidos por la Guardia Civil.	72
Tabla VII. Tipos de revelado de huellas latentes (Casillas Arias 2016).....	74
Tabla VIII. Resumen de las dosis absorbidas en cada etapa de irradiación de las evidencias forenses a un valor de tasa de dosis constante.	76
Tabla IX. Resumen de picos que se obtienen en el electroferograma del ADN de referencia (Figura 40) y frecuencias de los alelos de la base de datos ENFSI (STRIDER 2019), revisada y actualizada por la Guardia Civil. Fuente Laboratorio de Biología de la Guardia Civil.....	81
Tabla X. Frecuencias determinadas para los loci de cada uno de los 24 STR en la población (García, Alonso, y otros, Corrigendum to Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain 2014) (García, Alonso, y otros, Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain 2012).	82
Tabla XI. Dosis recibida por muestra de sangre.	84
Tabla XII. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN en sangre.	87
Tabla XIII. Relación de evidencias de ADN en saliva empleadas y dosis absorbida recibida por cada una de ellas.	92
Tabla XIV. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN en saliva	96
Tabla XV. Dosis recibida por muestra de restos de piel en llaves de Al.....	98
Tabla XVI. Dosis recibida por muestra de restos de piel en tapón (muestra mezcla de ADN).	102
Tabla XVII. Dosis recibida por muestra de restos de piel en tapón (muestra sólo un ADN).	104
Tabla XVIII. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN	108
Tabla XIX. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN	111
Tabla XX. Relación de evidencias de huellas cuyas resultados se presentan en la memoria de investigación y dosis total absorbida.	114
Tabla XXI. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de papel de 100 g, imágenes reveladas con DFO. Las imágenes marcadas con A corresponden a la mitad irradiada y la B a la no irradiada.....	117
Tabla XXII. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de papel reciclado, imágenes reveladas con DFO. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.	118
Tabla XXIII. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de vidrio, imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.....	118

Tabla XXIV. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de metal (chapa de Al), imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.....	119
Tabla XXV. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de película para radiografía, imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.....	119
Tabla XXVI. Resistencia a la radiación de las huellas dactilares en función del material del sustrato y de la dosis total absorbida. Verde (se revela huella de calidad); amarillo (huella de baja calidad con zonas borrosas) y rojo (ausencia de huella).	120
Tabla XXVII. Resultados obtenidos en la modelación cuando se considera la deflagración de un paquete de 5 kg de TNT equivalente, una velocidad de viento de 5 m/s.....	125

Índice de figuras

Figura 1. Electroferograma de las muestras de saliva irradiadas a 10 kGy.....	xvii
Figura 2. Electroferograma de las muestras de saliva irradiadas a 500 kGy	xvii
Figura 3. Ataques terroristas, concentración e intensidad entre 1970 – 2015 (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018).	5
Figura 4. Evolución de los ataques terroristas y el número de muertes entre 2012 – 2017 (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018).	5
Figura 5. Países firmantes de la enmienda a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (DSN 2016)	6
Figura 6. Ejemplo de la clasificación de los riesgos en función de su amenaza y probabilidad (OIEA 2015). Todas las probabilidades y consecuencias son nacionales y no representan valores reales. $R_1 < R_2 < R_3$ son líneas que representan riesgos iguales.....	7
Figura 7. Esquema de los ataques y accidentes más destacados en los que está involucrado algún tipo de agente NRBQ (Pascual Arnaiz y Quiñones 2017).....	8
Figura 8. Evolución de los incidentes confirmados en la ITDB relacionados con el tráfico y el uso malicioso (OIEA 2018)	11
Figura 9. Espectro de las actividades de seguridad física nuclear (OIEA 2013).....	12
Figura 10. Esquema de la estructura de mando y control de una emergencia.	15
Figura 11. Gráfico sobre la interrelación de los planes de emergencia.	15
Figura 12. Esquema de las actuaciones a realizar en la respuesta ante un delito (OIEA 2014)	18
Figura 13. Esquema de la clasificación de zonas para la respuesta ante un incidente NRBQ (ver Tabla III).	23
Figura 14. Gestión de la escena del delito (OIEA 2014).....	24
Figura 15. Estructura de mando integrada para la gestión de escenario de crimen radiológico (OIEA 2014)	29
Figura 16. ADN Estructura y Funciones (Wordpress s.f.)	31
Figura 17. Esquema para la detección del ADN codificante (Vasquez Marías, Garde Borao y Martínez Jarreta 2012).....	34
Figura 18. Sistemas de las crestas papilares.	42
Figura 19. Tipos básicos de dactilograma.....	42
Figura 20. Tipos básicos de crestas en el núcleo.....	43
Figura 21. Puntos característicos de una huella digital.....	43
Figura 22. Efectos de la radiación en materiales con interés probatorio (Tabla I de Monson y colaboradores (Monson, y otros 2018)).....	45
Figura 23. Estructura del ADN.....	46

Figura 24. Esquema de los mecanismos de daño inducidos por la existencia de radiación ionizante en la estructura del ADN. (1) Sitio básico y ruptura del enlace de H; (2) oxidación de bases; (3) rotura de doble cadena (DBS) con extremos superpuestos; (4) 3'fosfato (sustancia bloqueadora); (5) entrecruzamiento entre cadenas; (6) entrecruzamiento entre cadenas; (7) entrecruzamiento de proteínas; (8) alteración de residuos de azúcar; (9) rotura de una sola cadena (SSB); (10) desaminación de bases (Goodwin 2013).....	46
Figura 25. Imagen de las muestras de sangre preparadas empleadas en el estudio.	56
Figura 26. Imagen de las muestras de saliva preparadas empleadas en el estudio.	56
Figura 27. Vitrina de flujo laminar empleada para la esterilización de las muestras.	57
Figura 28. Muestras de tapones marcadas con el ADN y preparadas para irradiación.	57
Figura 29. Muestras de piel en llaves y tapones preparadas para el transporte.	57
Figura 30. Imagen de la caja de muestras que se trasladaba desde el laboratorio de Criminalística de la Guardia Civil al CIEMAT siguiendo la cadena de custodia.....	61
Figura 31. Muestras de huellas dactilares finales.	61
Figura 32. Gráfico de análisis del ADN (imagen: ThermoFisher Scientific).	63
Figura 33. Esquema de amplificación del ADN mediante por PCR (LaboratoryInfo 2015).	68
Figura 34. Ejemplo de una fracción del informe de un electroferograma.	69
Figura 35. Esquema de secuenciación de una muestra de ADN (Butler, Buel, y otros 2004).	70
Figura 36. Instalación radiactiva del CIEMAT – Nayade. Imagen de la izquierda muestra el laboratorio de la IR-06. Imagen central muestra el puente grúa utilizado para la manipulación del reactor con las muestras. Imagen de la derecha visión cenital de los reactores y las fuentes encapsuladas.	75
Figura 37. Imagen cenital del irradiador Náyade	75
Figura 38. Autoclave para introducción en el irradiador y sistema de colocación de fuentes.....	75
Figura 39. Dosis absorbidas por las muestras en las distintas etapas de irradiación.	76
Figura 40. Electroferograma del ADN de referencia. Muestra de ADN sin irradiar.	80
Figura 41. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy	85
Figura 42. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy	85
Figura 43. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy	85
Figura 44. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy	85
Figura 45. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy.....	86
Figura 46. Evolución de los 5 primeros STR (en sangre) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45, respectivamente)	86
Figura 47. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de sangre.	89
Figura 48. Electroferograma correspondiente a la muestra de sangre 17-07369-004-BI-1 radiada a 500 kGy.	90
Figura 49. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de sangre.	91
Figura 50. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de sangre.	91
Figura 51. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy	93
Figura 52. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy	93
Figura 53. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy	93

Figura 54. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy	93
Figura 55. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy	94
Figura 56. Evolución de los 5 primeros STR (en saliva) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55, respectivamente)	94
Figura 57. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de saliva.	95
Figura 58. Electroferograma correspondiente a la muestra de saliva 17-07369-009-BI-1 radiada a 500 kGy	96
Figura 59. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de saliva.	97
Figura 60. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de saliva.	97
Figura 61. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy	99
Figura 62. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy	99
Figura 63. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy	99
Figura 64. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy	99
Figura 65. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy	100
Figura 66. Evolución de los 5 primeros STR (en llave) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64 y Figura 65, respectivamente)	100
Figura 67. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de restos de células epiteliales en llaves.	101
Figura 68. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapón, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy	103
Figura 69. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapón, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy	103
Figura 70. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy.	105
Figura 71. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy	105
Figura 72. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy.	105
Figura 73. Evolución de los 5 primeros STR (en saliva) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50 y 100 kGy (la Figura 70, la Figura 71 y la Figura 72, respectivamente)	105
Figura 74. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de restos de células epiteliales en tapones.	106
Figura 75. Electroferograma correspondiente a la muestra 17-07369-038-BI-1 de tapones radiados a 100 kGy	107
Figura 76. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de restos de células epiteliales en llaves y tapones	109
Figura 77. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de células epiteliales en llaves y tapones	109
Figura 78. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 10 kGy.	112

Figura 79. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 50 kGy.....	112
Figura 80. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 100 kGy..	113
Figura 81. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 500 kGy.....	113
Figura 82. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 1 MGy.	113
Figura 83. Evidencias de huellas dactilares en papel de 100 g. A muestra irradiada, B sin irradiar.....	115
Figura 84. Evidencias de huellas dactilares en papel reciclado. A muestra irradiada, B sin irradiar.....	115
Figura 85. Evidencias de huellas dactilares en vidrio. A muestra irradiada, B sin irradiar.....	115
Figura 86. Evidencias de huellas dactilares en chapa de Al. A muestra irradiada, B sin irradiar.....	115
Figura 87. Evidencias de huellas dactilares en película de radiografía. A muestra irradiada, B sin irradiar.....	115
Figura 88. Evidencias de huellas irradiadas hasta una dosis absorbida de 50 kGy	116
Figura 89. Imagen de los tapones fracturados irradiado a 500 kGy	121
Figura 90. Imagen de fracturado papel de 100 g y reciclado irradiado a 100 kGy.	121
Figura 91. Imagen de la evidencia sin irradiar e irradiada a 1 MGy después de ser doblada.	121
Figura 92. Difusión de la pluma de contaminación radiológica utilizada en el ejercicio de mesa REMEX 13 (Algeciras, Reino de España). Visión en plano y sobre imagen vía satélite.	124
Figura 93. Dispersión de la contaminación en el REMEX 13 (Algeciras) para el caso 2 en el que se indica el límite de la zona de alerta (tasa de dosis > 0.1 mSv·h ⁻¹).	124
Figura 94. Tasa de dosis a 1 h de la explosión. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).	125
Figura 95. Deposición total. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).....	126
Figura 96. Dosis efectiva total a los 2 y 7 días. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).	126
Figura 97. Efectos de la explosión. Las áreas en la tabla son acumulativas (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).	127
Figura 98. Área con más de 100 µSv·h ⁻¹ y con más de 5 mSv·h ⁻¹ , marcadas en amarillo y rojo, respectivamente (Quiñones, Saez de Vergara, y otros 2103).	132
Figura 99. Imagen orientativa de un equipo de gammagrafía industrial y la fuente de Co en su interior. (CIEMAT 2013)	134
Figura 100. Evolución de la dosis absorbida por un material a 1 m de una fuente puntual de ⁶⁰ Co, considerando una actividad total de 37 y 10 TBq. En la imagen se indican los límites de resistencia a la radiación del ADN y de las huellas digitales determinados en este trabajo.	135

Acrónimos

Acrónimo		Definición
Español	Inglés	
^m -Cs		Cesio 137
2GM	WWII	Segunda Guerra Mundial
⁶⁰ -Co		Cobalto 60
ADM	MDW	Armas de Destrucción Masiva (Massive Destruction Weapons)
ADN	DNA	Ácido desoxirribonucleico
ADN-mt	DNA-mt	ADN mitocondrial
ADN-n	DNA-n	ADN nuclear
ADR	RDD	Artefacto de dispersión radiológica (Radiological Dispersion Device)
AER	RED	Artefacto de Exposición Radiológica (Radiological Exposition Device)
AGQ	CWA	Agente de Guerra Química (Chemical Warfare Agent)
ALARA	ALARA	Principio ALARA, “tan bajo como sea razonablemente alcanzable” (As Low As Reasonably Achievable)
BGT	GTD	Base Global de Terrorismo (Global Terrorism Database)
BOE		Boletín Oficial del Estado
Bq		Bequerelio
BTI	ITDB	Base de Tráfico e Incidentes (Incident and Trafficking Database)
C.A.		Comunidad Autónoma
CA		Cianoacrilato o Cianocrilato
CECO		Comité Estatal de Coordinación
CECOP		Centro de Coordinación Operativa
CECOPI		Centro de Coordinación Operativa Integrado
CIEMAT		Centro Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
CNE	ESS	Conjunto de Normas Europeas (European Standard Set)
CNP		Cuerpo Nacional de Policía
CNUFADN		Comisión Nacional Para el Uso Forense del ADN
CODIS	CODIS	Sistema combinado de indexación de ADN (Combined DNA Index System)
COS		Centro Operativo de Servicios de la Guardia Civil
CPFMN	CPPNM	Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares
CSN		Consejo de Seguridad Nuclear
DAMA	AMAD	Diámetro aerodinámico de la mediana de la actividad
DDR	RDD	Dispositivo de Dispersión Radiológica (Radiological Dispersion Device)
DEI	IED	Dispositivo Explosivo Improvisado (Improvised Explosive Device)
DFO		1,8-Diazafluoreno-9-uno
DGPCE		Dirección General de Protección Civil y Emergencias
DNI	IND	Dispositivo Nuclear Improvisado (Improvised Nuclear Device)
DRX	XRD	Rayos X

Acrónimo		Definición
Español	Inglés	
DSN		Departamento de Seguridad Nacional
EEUU	USA	Estados Unidos de América del Norte
EPI	PPE	Equipo de Protección Individual (Personal Protection Equipment)
ESS	ESS	European Standard Set
EURATOM	EURATOM	Comunidad Europea de la Energía Atómica
FBI	FBI	Oficina Federal de Investigación (Federal Bureau of Investigation)
FFCCS		Fuerzas y Cuerpos de Seguridad
FX	FX	Simulacro (Field Exercise)
GBq		Gigabequerelio
GC		Guardia Civil
GEJUME		General Jefe de la Unidad Militar de Emergencias
GEP-ISFG		Grupo de Habla Española y Portuguesa de la ISFG
GETADN	EDNAP	Grupo Europeo de Tipado de ADN
GIETMA		Grupo de intervención en Emergencias Tecnológicas y Medioambientales de la UME
IGCTN	GICNT	Iniciativa Global Contra el Terrorismo Nuclear (Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism)
INTERPOL	INTERPOL	Organización Internacional de Policía Criminal
IR	IR	Infrarrojo
ITBD	ITDB	Incident and Trafficking Database
ITO		Inspección Técnica Ocular
ITU	ITU	Instituto de Elementos Transuránicos
JRC	JRC	Joint Research Centre
JUER		Jefatura de Unidades Especiales y de Reserva de la Guardia Civil
kGy		Kilogrey
LeCrim		Ley Orgánica de Enjuiciamiento Criminal
LO		Ley Orgánica
MFCR	MORC	Materiales fuera del control regulador (Materials Out of Regulatory Control)
MOPI		Mando Operativo Integrado
NR	RN	Nuclear y Radiactivo
NRBQ	CBRN	Nuclear, Radiológico, Biológico y Químico
OIEA	IAEA	Organización Internacional de la Energía Atómica
ONU	UN	Organización de las Naciones Unidas o Naciones Unidas (NN.UU.)
OPE		Operación Paso del Estrecho
PCR	PCR	Reacción en Cadena de la Polimerasa (Polymmerase Chain Reaction)
PJ		Policía Judicial
PMA		Puesto de Mando Avanzado
PR	RP	Protección Radiológica

Acrónimo		Definición
Español	Inglés	
PRL		Prevención de Riesgos Laborales
RD		Real Decreto
REMEX	REMEX	Radiological Emergency Management Exercise
SAID	AFIS	Sistema Automático de Identificación Dactilar (Automatic Fringerprints Identification Sistem)
SALEM		Sala de Emergencias del CSN
SECRIM		Servicio de Criminología de la Guardia Civil
SIGC		Servicio de Información de la Guardia Civil
SIGF	ISFG	Sociedad Internacional de Genética Forense (International Society of Forensic Genetic)
SSB	SSB	Single Strand Break
START	START	National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism.
STR	STR	Short Tanem Repeat.
TCPMF	FMCT	Tratado para el Cese de la Producción de Materiales Fisibles
TEDAX		Técnicos de Desactivación de Artefactos Explosivos.
TNP	IICBN	Tratado de No-Proliferación nuclear
TTX	TTX	Ejercicio de mesa (Table Top eXercise)
UE	EU	Unión Europea
UME		Unidad Militar de Emergencias
UPI		Unidad de Primera Intervención
URSS	CCCP	Unión de Repúblicas Socialista Soviéticas
UT-NRBQ		Unidad Técnica NRBQ

Summary.

Development of the nuclear forensic techniques: risk assessment.

Introduction.

Nuclear forensic science has evolved in response to the growing illicit incidents related with radioactive or nuclear materials outside of regulatory control and its possible use in a malicious act. The ultimate goal of nuclear forensic discipline in an intentional incident involving these kind of materials is the attribution. Therefore, a forensic study should be undertaken in a way that could answer the two main questions that are posed: the origin of the material and the identification of the human contribution in the event and the processes involved. The origin of the material is determined through its physical (e.g. morphology) and chemical characterization (trace level composition, isotopic ratios...) although, clarifying the authorship requires the use of traditional forensic science disciplines such as DNA and fingerprints analysis.

Since its appearance, nuclear forensic science has focused fundamentally on the studies and advances related to the characterization of materials, leaving as secondary until recent years the evaluation of classical forensic evidences. In the context of a terrorist scenario, the nature of the event itself, causes on the potential probative samples being exposed to rugged environment effects that can impact on its successful analysis. So far, there have been relatively few investigations into the impacts and effects of radioactivity (mostly electromagnetic radiation) on fingerprint as well as DNA samples, even when DNA profiling is of particular relevance given its ability to identify persons involved in planning, preparing and carrying out terrorist acts.

Objectives.

Based on these facts, in a nuclear scenario, and taking into account the nature of the illicit material, the question that arises is the effect that irradiation can inflict on DNA and fingerprints, and to what extent can they be degraded, compromising its integrity and evidentiary validity for criminal prosecution. Into the bargain, the collection of samples in a RN scenario may involve the risk of exposure to radiation fields and/or radioactive contamination of law enforcement officers responsible for the task. These two considerations and the lack of studies with specific data published so far, highlight the need to determine up to what dose can be useful for forensic investigations the DNA of a biological material and the fingerprints found out in a radiological crime scene.

Knowledge of this dose value will help the authority to evaluate strategies taking into account ALARA principle, i.e., the usefulness of the evidence collected in these circumstances and if it is worth to expose personnel to do the job.

Experimental procedure.

The experiments performed consist on the exposure of latent fingerprints and biological matrices at different accumulated radiation doses in the range of 10 - 1000 kGy, and afterward perform the analysis of the irradiated samples using a normalized procedure.

Since the forensic discipline serves as a scientific support for investigations in the legal framework, the procedures followed must conform to those established by law. Thus, in this work the treatment of the samples once irradiated has been adjusted to the protocol established by the security forces, in this study Guardia Civil, regarding transfer, custody and analysis methodology of the samples.

The biological matrices studied were work samples of saliva, blood and skin, and the latent fingerprints were deposited in 100 gr paper, recycled paper, plastic, metal and crystal, all of them identified as the most probable evidences present on a crime scene. Whole samples were taking and encapsulated in the Guardia Civil Criminalistics Laboratory and submitted to CIEMAT for irradiation at different absorbed dose level. After the samples were irradiated, they were sent back to Guardia Civil laboratories for analysis and identification. During whole process the samples were controlled by a document called "chain of custody".

DNA procedure.

The forensic analysis of DNA samples comprises the following stages:

1. Extraction and purification. In this process the DNA is separated from other cellular components.
2. Quantification of the DNA in the sample.
3. Amplification of short tandem repeat (STR). Technique that helps to synthesize million copies of specific region/fragment of a DNA sequence.
4. Separation of the short tandem repeat products by Capillary Electrophoresis.

The DNA analysis process provides a chart called electropherogram, which displays the genetic material present. Due to the high number of data obtained, the interpretation and comparison is done through automated genotyping software, capable of identifying the peaks obtained in the electropherogram and comparing them with other analyses or with specialized databases.

The analysis done includes the study of 24 short tandems repeats (STRs), which encompass the European Standard Set (ESS) and CODIS (Combined DNA Index System) composite set of markers, as well as five more additional loci included by Guardia Civil (plus amelogenine) in order to be more accurate in the results.

Fingerprints procedure.

Regarding the study of the irradiated fingerprints, it took place in the facilities of the identification laboratory of the Criminalistic Service of Guardia Civil. The study was focused on the Analysis phase, devoted to reveal latent fingerprints, taking into account that this is a previous and necessary process to proceed to the Comparison phase, in which the aim is to achieve the identification of the owner of the prints. To render latent fingerprints visible, the means and methods protocolized by the Guardia Civil laboratory for each kind of surface were performed.

Results and discussion.

DNA study results.

In order to assess about the cells strength to the absorbed dose is necessary to perform a comparative study of all samples. The key parameter for this study was the intensity of the signal for each STR marker. Following this comparison methodology, it is possible to represent for each STR marker the evolution of intensity peak as a function of the absorbed dose, which help to determine for the different samples a possible range of absorbed dose strength.

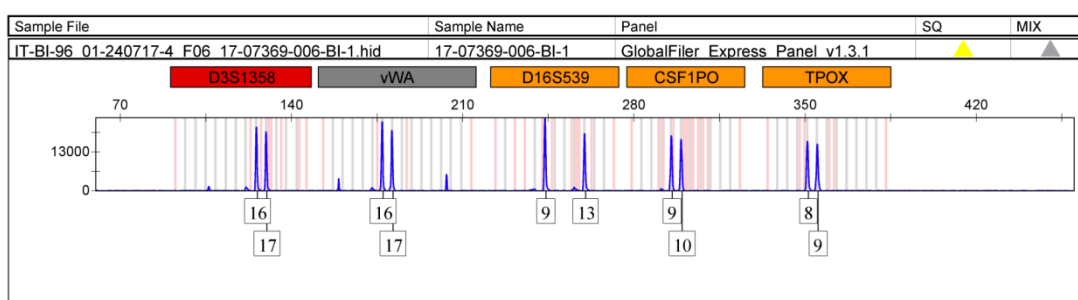


Figure 1. Electropherograms of saliva samples irradiated up to 10 kGy

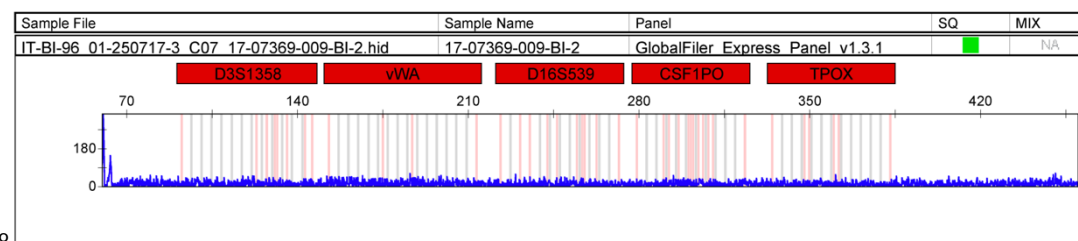


Figure 2. Electropherograms of saliva samples irradiated up to 500 kGy

The intensity of the radiation degradative effect in the markers is function of its structure. These results confirm the radiolysis effect produced in DNA structure as a consequence of absorbed dose, as the result to the break of chemical bonds in the structure producing changes in the length of pair of bases chain.

Fingerprints study results.

As it happened with DNA, radiation do affect latent fingerprints, nonetheless it effects are related mainly with the supporting surface and not really to the print itself.

Table I Fingerprint resistance as a function of the dose absobed and the type of the holder. Green means good cuality, yellow that reveal but it is unclear if it would be possible to identify the owner. Red means that no reveal at all.

Evidence holder	Dose absorbed				
	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
Paper of 100 g	Green	Green	Yellow	Red	Red
Recycled paper	Green	Green	Red	Red	Red
Glass	Green	Green	Green	Green	Green
Metal (Al sheet)	Green	Green	Red	Yellow	Yellow
Plastic (radiographic film)	Green	Green	Red	Red	Red

Conclusions.

Once the studies are finished, all the goals initially stablished have been achieved. The results presented in this work come up with the following conclusions:

- In general terms, genotype peak shows a height decrease with increasing gamma radiation absorbed dose.
- Not all the cells support the same dose. Blood cells support up to 1 MGy, saliva support up to 500 kGy and skin only 100 kGy. At doses above these thresholds the irradiation induces the loss of almost all the peaks in the electropherogram which leads to the loss of their identification capacity. This fact should be taking into account on the technical procedures of the law enforcement and first responders.
- Larger STR support radiation worse than sorter.
- DNA degradation induced by irradiation did not lead to the appearance of additional peaks in the profiles.
- Concerning fingerprints, their resistance to radiation is based in the surface where they are located more than in the fingerprint itself.

Resumen

Desarrollo de las técnicas forenses nucleares: valoración de riesgos

Introducción.

La ciencia forense nuclear ha evolucionado como respuesta al creciente número de incidentes relacionados con materiales radiactivos o nucleares fuera de control regulado y su posible uso en actos maliciosos. El objetivo último de la ciencia forense en un incidente intencionado con este tipo de material es la identificación de los responsables; para ello, el estudio forense debe incluir las respuestas a las dos preguntas más importantes: el origen del material y la identificación de los responsables de la acción. El origen del material se determina a través del análisis físico (morfología), y la caracterización química (trazabilidad de la composición, isótopos,...) mientras que la identificación de los autores requiere el uso de métodos forenses tradicionales, incluyendo disciplinas como el estudio del ADN o las huellas dactilares.

Desde su aparición, la ciencia forense nuclear se ha centrado fundamentalmente en los estudios y avances relativos a la caracterización de los materiales, dejando hasta hace pocos años como secundaria la evaluación de las evidencias forenses clásicas. En el contexto de un escenario de atentado terrorista, la naturaleza del acto en sí mismo provoca que las muestras sean expuestas a un entorno contaminado que puede afectar a su análisis. Hasta el momento ha habido relativamente pocas investigaciones sobre el impacto y efectos de la radiactividad (fundamentalmente radiaciones electromagnéticas) en el análisis del ADN, incluso cuando el perfil de ADN tiene una particular relevancia dada su efectividad en la identificación de personas involucradas en la planificación, preparación y comisión de actos terroristas; algo parecido sucede con las huellas dactilares.

Objetivo.

Teniendo en cuenta estas circunstancias y la naturaleza del material ilícito en un escenario nuclear, la pregunta que se plantea es cuál es el efecto que puede tener la irradiación en el ADN y en las huellas dactilares; hasta qué punto se pueden degradar, comprometiendo su integridad y validez como evidencia en un proceso penal. En este contexto, no hay que olvidar que la recogida de muestras en un escenario nuclear o radiológico puede suponer el riesgo de exposición a campos de radiación y/o a contaminación radiológica de los intervinientes de las fuerzas de seguridad responsables de esta tarea.

Estas dos consideraciones y la carencia de estudios publicados con datos específicos, justifican sobradamente la necesidad de determinar hasta qué dosis el ADN de material biológico

y las huellas dactilares encontradas en una escena del delito en el que está presente material radiológico pueden ser útiles para una investigación forense.

El conocimiento sobre el valor de esa dosis ayudará a evaluar las estrategias a seguir por las fuerzas de seguridad teniendo en cuenta el principio ALARA, es decir, valorando la utilidad de la evidencia que se recogería frente al riesgo asumido por el personal encargado de retirarla de la escena del delito.

Procedimiento experimental.

Los experimentos llevados a cabo consisten en la exposición de huellas y muestras biológicas a diferentes dosis de radiación acumulada entre 10 y 1000 kGy, para posteriormente efectuar el análisis de las mismas empleando los procedimientos normalizados del laboratorio de Biología y de Identificación del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil.

En tanto que la disciplina forense sirve de soporte científico a los investigadores, los procedimientos seguidos en todo momento deben ser idénticos a los seguidos en un caso real para mantener su validez legal. En consecuencia, en este trabajo el tratamiento de las muestras una vez irradiadas debe ajustarse al protocolo establecido por las fuerzas de seguridad, en este caso Guardia Civil, en cuanto a la custodia y metodología de análisis de las muestras.

Las muestras biológicas estudiadas son de saliva, sangre y piel, y las huellas dactilares fueron depositadas en soportes de papel de 100 g, papel reciclado, plástico, metal y vidrio, todas ellas identificadas como las evidencias más probables de ser encontradas en la escena de un delito. Las muestras se tomaron y prepararon en el laboratorio de criminalística de la Guardia Civil y posteriormente enviadas al CIEMAT para su irradiación a diferentes niveles de dosis absorbida. Una vez irradiadas fueron devueltas al laboratorio de la Guardia Civil para su análisis e identificación. Durante todo el proceso se mantuvo la cadena de custodia de las muestras.

Procedimiento: ADN.

El análisis forense de las muestras de ADN comprende las siguientes etapas:

1. Extracción y purificación. En este proceso el ADN se separa de otros componentes celulares.
2. Cuantificación del ADN en la muestra.
3. Amplificación de los STR. Técnica que ayuda a sintetizar millones de copias de una región/fragmento específico de una secuencia de ADN.
4. Separación de los STR por electroforesis capilar.

El proceso de análisis del ADN proporciona un gráfico denominado electroferograma, que muestra el material genético presente. Debido al alto número de datos obtenidos, la interpretación y comparación se ha hecho a través de un software de genotipado automático, capaz de identificar los picos obtenidos en el electroferograma y compararlos con los datos existentes en las bases de datos especializadas.

El análisis realizado incluye el estudio de 24 STR, correspondientes a los marcadores establecidos por el European Standard Set (ESS) y CODIS (Combined DNA Index System), y cinco marcadores adicionales (además de la amelogenina) que emplea la Guardia Civil para ajustar con más precisión los resultados.

Procedimiento: Huellas dactilares.

Por lo que respecta al estudio de las huellas irradiadas, el mismo se llevó a cabo en el laboratorio de identificación del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil. El estudio se centró en la fase de análisis, en concreto en el revelado de las huellas, toda vez que el proceso es previo y necesario a la fase de comparación en la que se trabaja para lograr la plena identificación del donante de la huella. Para el revelado se emplearon los medios y reactivos protocolizados por el laboratorio de la Guardia Civil en base al soporte en el que se encuentra la huella.

Resultados y discusión.

Resultados del estudio del ADN.

Para evaluar la resistencia a la dosis absorbida es necesario llevar a cabo estudios comparativos de todas las muestras. El parámetro clave para este estudio es la intensidad de la señal de cada marcador STR. Siguiendo esta metodología de comparación, es posible representar para cada marcador STR la evolución de los picos de intensidad en función de la dosis absorbida. Esto ayuda a determinar la resistencia a la dosis absorbida de las diferentes muestras radiadas.

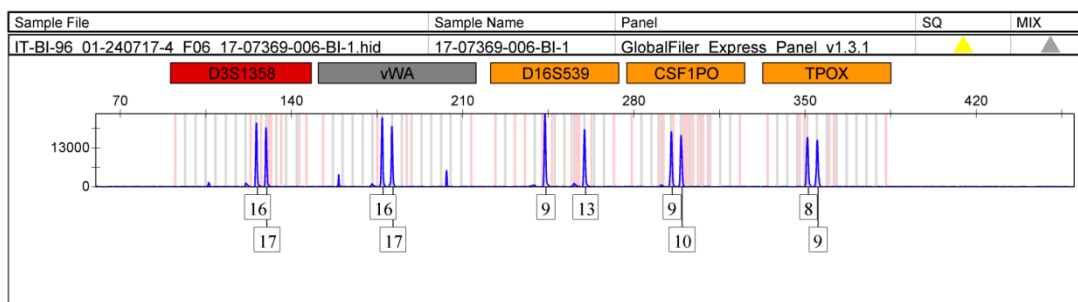


Figura 1. Electroferograma de las muestras de saliva irradiadas a 10 kGy

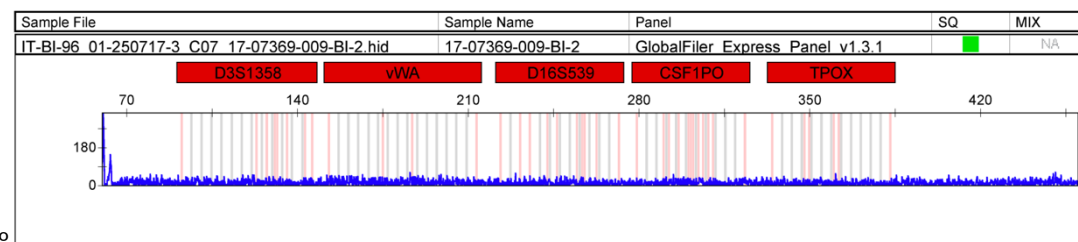


Figura 2. Electroferograma de las muestras de saliva irradiadas a 500 kGy

La intensidad de los efectos degradantes en los marcadores es función de su estructura, fundamentalmente de la longitud de la cadena de pares de bases. Estos resultados confirman el

efecto de la radiólisis producida en la estructura del ADN como consecuencia de la dosis absorbida, debido a la ruptura de los enlaces químicos produciendo cambios en la longitud de la cadena de pares de bases.

Resultados del estudio de las huellas dactilares.

Como en el caso del ADN, la radiación sí afecta a este tipo de evidencias, si bien su efecto está muy vinculado al soporte en el que se encuentra la huella.

Tabla I. Resistencia a la radiación de las huellas dactilares en función del material del sustrato y de la dosis total absorbida. Verde (se revela huella de calidad); amarillo (huella de baja claridad con zonas borrosas) y rojo (ausencia de huella).

Soporte de la evidencia	Dosis absorbida				
	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
Papel 100 g	Verde	Verde	Amarillo	Rojo	Rojo
Papel reciclado	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
Vidrio	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Metal (chapa de Al)	Verde	Verde	Rojo	Amarillo	Amarillo
Película para radiografía	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo

Conclusiones.

Una vez finalizados todos los estudios, se han conseguido alcanzar los objetivos planteados inicialmente, al tiempo que se extraen las siguientes conclusiones:

- En términos generales, los picos del genotipo reflejados en los electroferogramas muestran una menor altura con el aumento de la dosis absorbida de radiación.
- No todas las células soportan la misma dosis. Las células sanguíneas soportan hasta 1M kGy, las de saliva hasta 500 kGy y las de piel solo 100 kGy. Para dosis superiores a estos umbrales la radiación provoca una pérdida de casi todos los picos del electroferograma lo que lleva a una pérdida de su capacidad de identificación. Este hecho debe tenerse en cuenta en los procedimientos técnicos de las fuerzas de seguridad y primeros intervinientes.
- Los STR más grandes soportan peor la radiación.
- La degradación del ADN inducida por la radiación no provoca la aparición de nuevos picos en los perfiles.
- Por lo que respecta a las huellas dactilares, su resistencia a la radiación está basada fundamentalmente en la superficie donde se encuentran, más que en la huella en sí misma.

1. Objetivos.

El presente trabajo de investigación pretende ayudar a las fuerzas y cuerpos de seguridad analizando y evaluando el efecto de la presencia de campos de radiación en las evidencias que pueden ser recogidas en la escena de un delito, tanto en el propio proceso de toma de muestras como en el análisis de las mismas. El fin último del mismo es el velar por la seguridad de los intervinientes en la escena de un delito cometido en un entorno nuclear o radiológico, identificando los umbrales a partir de los cuales una determinada evidencia pierde las características fisicoquímicas que permiten la identificación indubitada de la persona a la que pertenece y, de esta manera, determinar si es necesario exponer a los miembros de las fuerzas y cuerpos de seguridad a los campos de radiación ionizante existentes en la zona para recogerlas o, por el contrario, al estar ya degradadas por haber absorbido un umbral de dosis determinado, el riesgo no está justificado ni desde el punto de vista legal ni siguiendo el principio ALARA¹ (FAO; OIEA; ILO; OECD - NEA; PAHO; WHO 1996).

Para ello, en este trabajo de investigación se establece como objetivo principal determinar el umbral de dosis absorbida a partir del cual las evidencias existentes en una escena del delito pierden sus características diferenciadoras y no permiten la identificación.

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se establece como objetivo específico identificar cómo afecta la radiación a las evidencias existentes en la escena del delito mediante:

- Medida del umbral de radiación que permite la identificación de una muestra de ADN en sangre.
- Medida del umbral de radiación que permite la identificación de una muestra de ADN en restos biológicos.
- Medida del umbral de radiación que permite la identificación de una huella dactilar impresa sobre diferentes tipos de soportes.

¹ As Low As Reasonably Achievable

2. Introducción.

En esta memoria de tesis doctoral van a aparecer numerosas referencias a actividades de fuerzas y cuerpos de seguridad y a los departamentos que llevan a cabo las mismas. Estos departamentos, si bien desarrollan actividades similares y utilizan procedimientos muy parecidos en las distintas organizaciones policiales, debido a la propia estructura orgánica de las mismas reciben nombres diferentes. Como ejemplo, sin tener que salir de España y centrándonos en el ámbito de la gestión de la escena del delito, el Cuerpo Nacional de Policía encarga a la Comisaría General de Policía Científica las actividades que la Guardia Civil encomienda a la Jefatura de Policía Judicial.

Con el fin de evitar aclaraciones constantes y el empleo de distintos nombres para referirse a una misma actividad, se van a emplear siempre los términos y departamentos existentes en la Guardia Civil² y las posibles recomendaciones que se establezcan lo serán también para la Guardia Civil, si bien serán extrapolables a otros cuerpos de seguridad nacionales y extranjeros.

Por otro lado, durante la realización de la parte experimental incluida en este trabajo de investigación, se aplicaron técnicas y procedimientos que se emplean en la escena real de un delito para llegar a identificar a la persona o personas que estuvieron presentes en ella y por tanto susceptibles de ser los autores. Cabe la posibilidad de que el lector quede con alguna curiosidad sobre los procesos de identificación de personas que se referenciarán, sin embargo, lamentablemente, algunos de ellos serán tratados muy superficialmente por motivos obvios de confidencialidad y de seguridad de los propios intervinientes en la investigación de los delitos.

Una vez efectuadas las anteriores aclaraciones, la primera pregunta que se debe responder antes de empezar a desarrollar este trabajo es si realmente puede ser útil conocer el efecto de la presencia de campos de radiación ionizante en las evidencias forenses. Partiendo de la base de que el conocimiento siempre es útil, con ello debería valer; pero desde el punto de vista práctico de un guardia civil, acostumbrado a enfrentarse a más necesidades que recursos disponibles tiene a su alcance, debe sopesarse seriamente si realmente es factible que pueda presentarse una escena en la que se han empleado elementos radiológicos o nucleares y que se deban exponer equipos de personas a la presencia de radiaciones para obtener las evidencias que permitan identificar al autor o autores.

Como se verá más adelante, la amenaza radiológica es real, por lo que se considera necesario realizar esta memoria de investigación³.

² Cuerpo al que pertenece el autor de la memoria.

³ Seneca "No nos atrevemos a muchas cosas porque son difíciles, pero son difíciles porque no nos atrevemos a hacerlas".

2.1 La amenaza terrorista.

La amenaza terrorista es desgraciadamente un hecho con el que la sociedad actual tiene que convivir. A lo largo de los años se ha podido ver cómo distintos grupos terroristas han ido desapareciendo de la escena mundial para ser sustituidos por otros nuevos.

No es objeto de esta tesis hacer un estudio en profundidad de la amenaza terrorista en España, y mucho menos a nivel mundial, pero sí merece la pena hacer la reflexión de que el terrorismo está cambiando en cuanto a objetivos y *modus operandi*.

En los siglos XIX y XX los grupos terroristas se centraban en alcanzar unos objetivos, normalmente de carácter político, más o menos concretos. Estas aspiraciones políticas les llevaban a cometer acciones, por muy deplorables e injustificables que sean, centradas en personas e instituciones muy específicas para desestabilizar el país. Así, han sido objetivos tradicionales del terrorismo: la clase política, funcionarios del estado, entre los que se incluyen miembros del estamento judicial, fuerzas de seguridad, fuerzas armadas o docentes universitarios, científicos, periodistas y un número demasiado elevado de profesionales cuya muerte generaba esa situación de inestabilidad y terror que, no lo olvidemos nunca, es la definición y finalidad del terrorismo. Tan solo movimientos muy concretos, entre los que se podrían incluir organizaciones paramilitares de zonas en conflicto (palestinas y chechenas por ejemplo) y movimientos narco-guerrilleros sudamericanos, efectuaban ataques indiscriminados contra la población civil, pero aun así, contra una población "*favorable al enemigo*" y con el claro objetivo de debilitar al Estado y forzarle a negociar para alcanzar sus reivindicaciones.

Sin embargo, desde finales del siglo XX y principios de este siglo XXI, ha hecho su aparición una nueva modalidad de terrorismo que carece de objetivos concretos y alcanzables, cuyo fin es simplemente causar daño y un elevado número de víctimas: un terrorismo indiscriminado. Un terrorismo que huye de atentar contra fuerzas de seguridad o personajes de relevancia por su dificultad y que se centra en los denominados "*soft target*"⁴, objetivos no protegidos en los que existe un potencial de víctimas elevado, sin preocuparse de si las mismas son hombres, mujeres o niños; ni cuál es su credo, raza o religión. Los objetivos como el del califato mundial o el exterminio de los infieles son irreales y solo pretenden justificar sus acciones de barbarie. Según los datos de Global Terrorism Database, GTD (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018), en 2017 se produjeron en el mundo 10.900 ataques terroristas, en los que murieron 26.400 personas, de las cuales 8.075 eran terroristas y 18.488 víctimas. A modo de ejemplo, el gráfico de la Figura 3 muestra las zonas donde se han producido mayor número de atentados en los últimos 45 años, y la Figura 4 muestra la evolución de los ataques y el número de víctimas en los últimos 5 años, según los datos existentes en GTD (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018).

⁴ Se entiende por "soft target" la persona o cosa que está relativamente desprotegida o vulnerable, especialmente referida a un ataque militar o terrorista (OXFORD 2019). En el ámbito de la lucha antiterrorista, se incluyen como soft targets los mercados, plazas públicas, grandes superficies, estadios y cualquier otro lugar donde se produzca una concentración de personas sin que existan grandes medidas de seguridad.

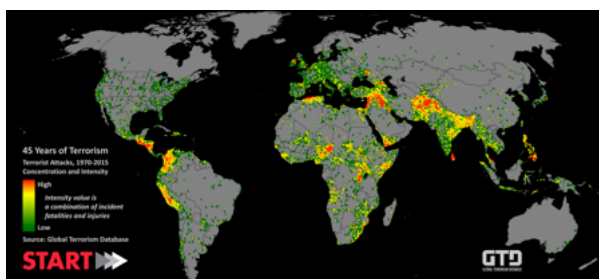


Figura 3. Ataques terroristas, concentración e intensidad entre 1970 – 2015 (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018).



Figura 4. Evolución de los ataques terroristas y el número de muertes entre 2012 – 2017 (National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2018).

A la opinión pública de España, y a las de nuestro entorno, les cuesta trabajo entender que puedan existir personas para las que su objetivo vital sea producir, llevados por un odio irracional, cuantas más víctimas y daños mejor, sin embargo es una realidad con la que se debe convivir. Estos nuevos terroristas operan de forma individual o en células aisladas, sin conexión con una organización, pero empleando su nombre para dar legitimidad a estas acciones en su esfera y utilizando cualquier recurso a su alcance para producir el efecto deseado, como apuñalamientos con cuchillos, atropellos con vehículos, armas de fuego, explosivos o cualquier otro medio que pueda causar víctimas, inseguridad y por tanto terror, para inferir en la vida normal de las personas.

Cuando se realiza un análisis de riesgos de la seguridad de un evento social, desde el más cotidiano como puede ser la utilización de transportes públicos, a eventos excepcionales como conciertos u otras actividades que concentren masas de personas, siempre se valora en la prevención de un posible ataque terrorista la voluntad y la capacidad. Con respecto a la voluntad, este tipo de terrorismo no dudará en emplear cualquier medio, incluso armas de destrucción masiva (ADM), empleando agentes nucleares, radiológicos, biológicos o químicos (NRBQ) si dispusiera de ellos y contara con los medios adecuados para hacer efectiva su propagación, con el fin de provocar en la población heridos y/o muertos, caos, terror, pérdidas económicas importantes y de confianza en el correcto funcionamiento de las Instituciones del Estado.

Son diversos los mensajes distribuidos en los medios de comunicación, como el lanzado en 2006 por Abu Hamza al-Muhardir, líder de Al Qaeda en Irak, en el que hacía un llamamiento a *“expertos en el campo de la química, física, electrónica, medios de comunicación y cualquier otra ciencia (...) especialmente científicos nucleares y expertos en explosivos”* ya que *“el campo de la yihad puede satisfacer vuestras ambiciones científicas y las grandes bases americanas son buenos lugares para probar vuestras armas no convencionales, sean biológicas o sucias, como ellos las llaman”* (Rising 2006). El propio Osama bin Laden ya declaró en 1998 que adquirir y usar armas de destrucción masiva era su deber islámico, una parte integral de su yihad (Policy 2010), repitiendo sucesivamente este mensaje en diversas ocasiones hasta su muerte en mayo de 2011 (Mowatt-Larssen 2011). Existen incluso publicaciones en las que no solo se insta al empleo de armas de destrucción masiva (ADM o WMD) para cometer atentados, sino que incluso se imparten instrucciones de cómo fabricarlas y llevarlos a cabo.

En los últimos años, las organizaciones terroristas han recurrido cada vez más a Internet como campo de adiestramiento alternativo de terroristas. Hay una gama cada vez mayor de

medios de comunicación que proporcionan plataformas para la difusión de guías prácticas en forma de manuales en línea, ficheros de audio y video, materiales de información y asesoramiento. Estas plataformas de Internet también ofrecen instrucciones detalladas, a menudo en formato multimedia de fácil acceso y en varios idiomas, sobre temas tales como la forma de afiliarse a organizaciones terroristas, cómo fabricar explosivos, armas de fuego u otras armas o materiales peligrosos, y cómo planear y ejecutar ataques terroristas (Oficina de NNUU contra la droga y el delito, ONUDOC, 2013).

Gracias a las organizaciones internacionales como la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), (OIEA 1998) o el EURATOM (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades 2018) y acuerdos como la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares⁵ o la Enmienda a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares⁶ (OIEA 2016, DSN 2016) realizados de forma unánime por la comunidad internacional, existe un compromiso formal y casi global de control y limitación del uso indebido de este tipo de materiales (Figura 5).

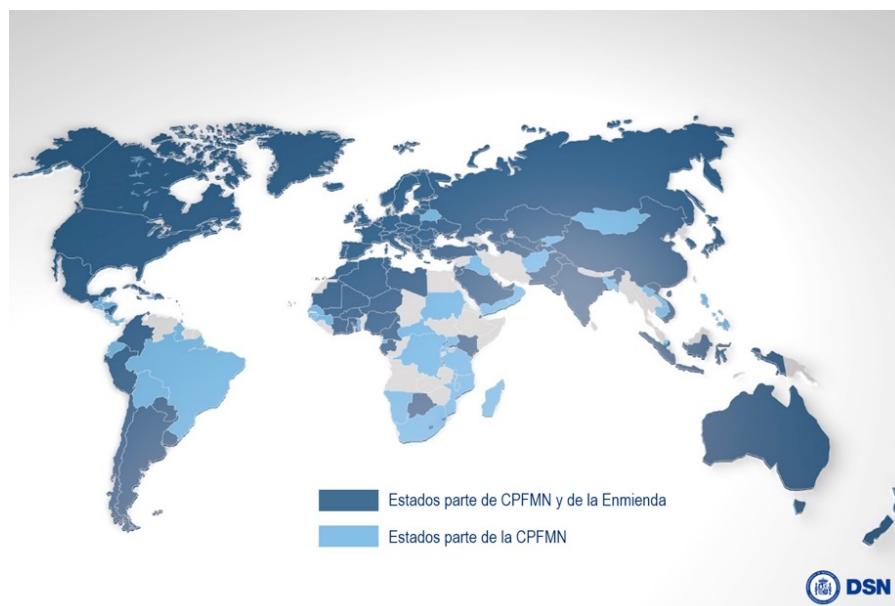


Figura 5. Países firmantes de la enmienda a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (DSN 2016)

Dichas iniciativas y acuerdos permiten que un análisis de riesgos de las posibles amenazas confirme que la construcción de una bomba atómica está fuera del alcance de un grupo terrorista. Sin embargo, un dispositivo de dispersión radiológica, DDR, o RDD como es comúnmente conocido en terminología anglosajona, entre los que se incluye una bomba sucia⁷ consistente en una carga explosiva adosada a un elemento radiactivo, no puede descartarse que pueda ser empleada por una determinada célula terrorista. Este hecho se puede constatar en el análisis de riesgos de la amenaza realizado por el OIEA (Figura 6 (OIEA 2015)) en el que se compara su probabilidad y consecuencias con otros riesgos. Esta misma idea fue ratificada en la Conferencia de Seguridad Nuclear celebrada en Londres en 2005, en la que se identificó como un riesgo

⁵ Firmada en 1980 y en vigor desde 1987.

⁶ Firmada en julio de 2005 y de entrada en vigor el 8 de mayo de 2016.

⁷ Es frecuente ver cómo se emplean como sinónimos los conceptos de Dispositivo de Dispersión Radiológica, DDR, y el de bomba sucia. Debe aclararse que el primer concepto incluye al anterior, ya que se trata de cualquier dispositivo que sea capaz de dispersar elementos radiológicos, mientras que una bomba sucia es un tipo de DDR que emplea explosivos para la dispersión.

relevante el que personas o grupos no autorizados adquirieran material radiactivo para la construcción de RDDs o bombas sucias (OIEA 2005).

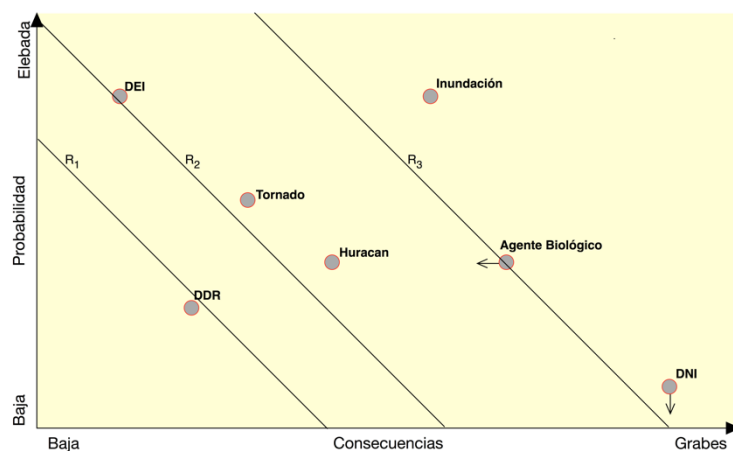


Figura 6. Ejemplo de la clasificación de los riesgos en función de su amenaza y probabilidad (OIEA 2015). Todas las probabilidades y consecuencias son nacionales y no representan valores reales. $R1 < R2 < R3$ son líneas que representan riesgos iguales

Es de significar que un terrorista del tipo comentado cuenta con dos ventajas importantes a la hora de fabricar un DDR:

1. No le importa morir, o incluso lo desea, por lo que los riesgos que implica el almacenamiento y manejo de materiales radioactivos no supone un inconveniente para él.
2. Pese a que el número de víctimas que produzca el DDR será sin duda limitado, y muy posiblemente inferior al producido por un atentado convencional similar, el terror que causaría en la población sería mucho mayor, llegando probablemente a colapsar una instalación, una ciudad o incluso un país.

2.1.1 Empleo terrorista de artefactos nucleares y radiológicos.

En 1938, Otto Hahn descubrió lo que pronto se llamaría proceso de fisión. Inmediatamente se produjeron los avances de Frederic Joliot-Curie, y pronto se empezó a contemplar la posible realización de un arma nuclear con la participación de Frisch y Peierls y la creación primero del Comité Maud y posteriormente del Proyecto Manhattan. Como es bien sabido, el final de este proceso condujo a la construcción y posterior lanzamiento de sendas bombas atómicas sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki el 6 y 9 de agosto de 1947. Las consecuencias sobre la población civil fueron terribles, causaron más de 250.000 muertes antes de que transcurrieran dos meses, otras 500 mil víctimas a raíz de su exposición a la radiación posterior, y más de cuatro millones de afectados entre los heridos y enfermos a causa de las explosiones. Las víctimas supervivientes del bombardeo (hibakushas) siguen padeciendo las consecuencias. Aún hoy hay gente que sufre enfermedades de tipo cancerígeno debido a la radiación (Bohigas 2013).

Desde entonces se inició una carrera armamentística liderada por Estados Unidos y la Unión Soviética, y a la que se sumaron un gran número de estados, para desarrollar y conseguir un arma nuclear. Afortunadamente esta carrera llegó a su fin en 1992 con la celebración de la primera

cumbre ruso-americana en la que los presidentes Bush⁸ y Yelsin⁹ se comprometieron a reducir a un tercio sus respectivos arsenales nucleares intercontinentales. De ahí surgió el tratado Start II y posteriormente el tratado para el cese de la producción de materiales fisibles y el Tratado de No-Proliferación nuclear (TNP) (UNODA 1995) que pretende poner límite a estas armas¹⁰ (DSN 2016).

No obstante a lo anterior, existen países que siguen disponiendo de armamento nuclear y su empleo, si bien poco probable, no es en absoluto descartable, ya que en el momento de escribir estas líneas el gobierno sirio ha llevado a cabo un ataque usando agentes químicos¹¹, lo que hace pensar que en alguna situación determinada y con gobiernos al mando de ciertos dirigentes, pueden llevarse a cabo acciones extremas (Figura 7).

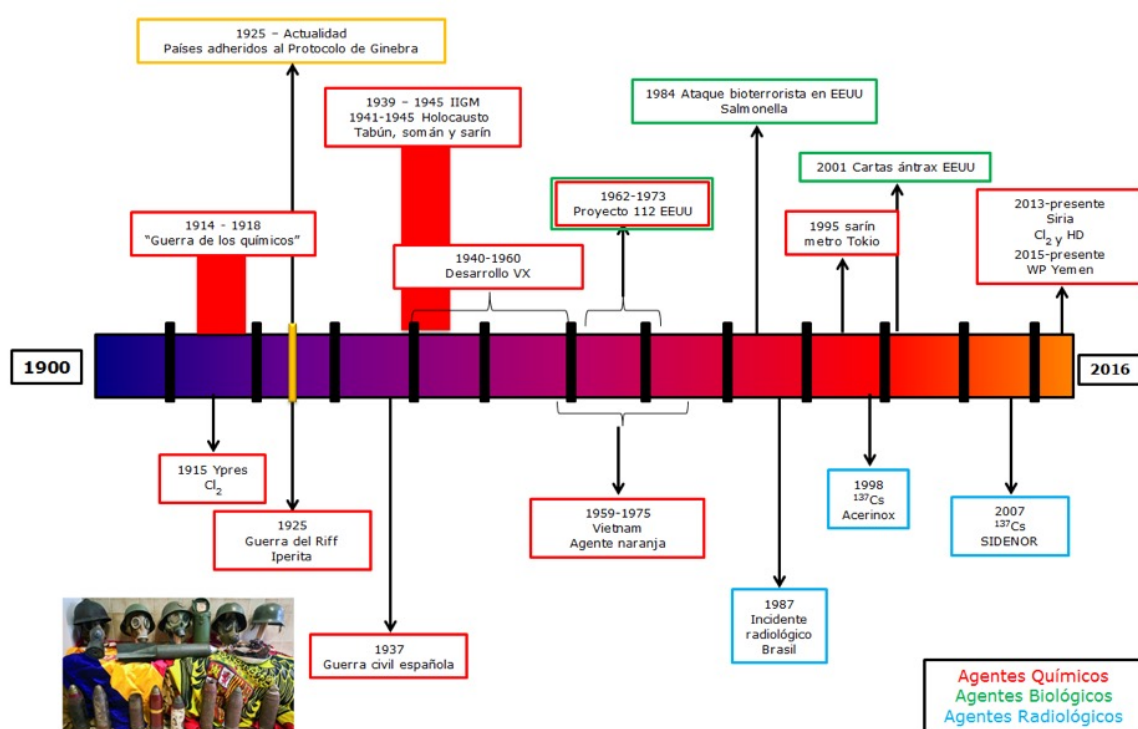


Figura 7. Esquema de los ataques y accidentes más destacados en los que está involucrado algún tipo de agente NRBQ (Pascual Arnaiz y Quiñones 2017)

Existen dos principales bases de datos que recogen los casos de contrabando nuclear: la Illicit Trafficking Database del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) y la Database on Nuclear Smuggling, Theft and Orphan Radiation Sources de la Universidad de Salzburgo. Ambas coinciden en señalar a Rusia como el principal origen del material de contrabando y a Turquía como su destino preferido. La región del Mar Negro es pues el centro mundial del mercado negro nuclear (Bohigas 2013).

⁸ George Herbert Walker Bush, nacido el 12 de junio de 1924 fue el 41.º presidente de los Estados Unidos entre 1989 y 1993

⁹ Borís Nikoláievich Yeltsin nacido el 1 de febrero de 1931 fue presidente de la Federación de Rusia entre 1991 y 1999.

¹⁰ Cartagena (DSN 2016) realizan una interesante revisión de la evolución y situación actual de la política internacional en relación con la no proliferación de armas nucleares.

¹¹ Ataque contra Duma el 18 de abril de 2018.

Afortunadamente la disponibilidad de estas armas y tecnología para grupos terroristas puede descartarse, por lo que a efectos de este trabajo, centrado en los aspectos forenses de una investigación criminal, la referencia de un entorno contaminado tras una explosión nuclear se limitaría a la identificación de víctimas, sin ser precisa a priori la búsqueda de evidencias de un delito.

Otra posibilidad de trabajo en un ambiente nuclear sería la derivada de un incidente en una instalación nuclear. Aquí sí existen más probabilidades de que las fuerzas de seguridad tengan que intervenir ya que, si bien el escenario más probable, dentro de la dificultad que entraña por el gran número de medidas de seguridad existentes, sea el de un accidente, no se puede descartar la intervención humana intencionada en el desencadenamiento del mismo, por lo que sin duda hará falta una instrucción judicial del suceso para depurar responsabilidades y encontrar a los autores en el caso de que se haya producido un hecho delictivo.

A raíz de la intrusión de unos activistas de Green Peace en la central nuclear de Cofrentes en Valencia el 15 de febrero de 2011, desde el Ministerio del Interior se dirigió un estudio para identificar lo que se denomina la “*amenaza base de diseño*”, esto es, la amenaza real más peligrosa posible y que por tanto tiene que servir de base para diseñar la seguridad. Este estudio, en el que participaron expertos de las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado, Centro Nacional de Coordinación Antiterrorista, Ministerio de Industria, Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y operadores de las centrales, concluyó en 2016. La Amenaza Base de Diseño es un documento confidencial, por lo que no puede difundirse su contenido en este trabajo, sin embargo sí puede revelarse que en sus conclusiones se incluye que el sistema de seguridad de las centrales en ese momento, basada en el RD 1308/2011 de 26 de septiembre de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares y de las fuentes radiactivas (BOE 2011), era insuficiente para afrontar la amenaza definida. Con estos resultados en la mano, se procedió a la modificación del referido real decreto, incrementando las medidas de seguridad existentes, y recogiendo que en todas las centrales habría un destacamento especial de la Guardia Civil para hacerse cargo de la respuesta en caso necesario (BOE 2015).

En base a lo anteriormente expuesto, se puede concluir que, considerando que la tecnología para la fabricación de una bomba nuclear está fuera del alcance de un grupo terrorista y que las centrales nucleares cuentan con un sistema de seguridad reforzado, es bastante improbable que en España se produzca un atentado terrorista que emplee material nuclear. En este caso, aunque exista voluntad, no habría capacidad.

Eso reduce la amenaza a una situación mucho más realista y limitada, como es el empleo de un RDD. Si este dispositivo utilizara explosivos para la difusión del material radiactivo, se trataría de lo que comúnmente se conoce como una bomba sucia.

Queda todavía por resolver la dificultad de obtener el material radiológico, sin embargo, esto no es tan difícil como pudiera parecer en un principio, ya que el empleo de éste es más frecuente de lo que muchas personas piensan y se pueden encontrar elementos radiactivos en generadores termoelectrónicos radiactivos, irradiadores industriales y hematológicos, equipos de gammagrafía industrial, braquiterapia, de calibración, de medida de espesores, pararrayos y un largo etcétera. Lo que supone la existencia de numerosos equipos con elementos que producen radiaciones ionizantes, cuyo acceso no es excesivamente difícil, bien sea mediante compra o robo en los lugares en los que se encuentren.

La OIEA establece un sistema en el que distribuye los materiales radiactivos en cinco categorías en base a su actividad (OIEA 2005), siendo la más alta la categoría 1 (ver Tabla II):

Tabla II. Clasificación de las fuentes radiactivas según la OIEA (OIEA 2005).

Categoría	Fuente y práctica	Razón de actividad (A/D)
1	Generadores termoeléctricos de radioisótopos (GTR) Irradiadores Fuentes de teleterapia Fuentes de teleterapia fija de haces múltiples (cuchillo gamma)	$A/D > 1000$
2	Fuentes de radiografía gamma industrial Fuentes de braquiterapia de elevada/media tasa de dosis	$1000 > A/D > 10$
3	Calibradores industriales fijos con fuentes de actividad alta Calibradores para diagráfia de pozos	$10 > A/D > 1$
4	Fuentes de braquiterapia de baja tasa de dosis (salvo placas oculares e implantes permanentes) Calibradores industriales sin fuentes de actividad alta Densitómetros de huesos Eliminadores de estática	$1 > A/D > 0.01$
5	Fuentes de braquiterapia de baja tasa de dosis, placas oculares e implantes permanentes Aparatos de análisis mediante fluorescencia por rayos X (FRX) Aparatos detectores por captura de electrones Fuentes de espectrometría Mössbauer Fuentes de examen mediante tomografía por emisión de positrones (TEP)	$0.01 > A/D > \text{cantidad eximida}$

El Director General de la OIEA, Dr. Mohamed ElBaradei¹², ante la Asamblea General de Naciones Unidas el 28 de octubre de 2008, subrayó que “*la posibilidad de que los terroristas obtengan material nuclear u otras fuentes radiactivas sigue siendo una grave amenaza...*” insistiendo en que “*...el número de incidentes en los últimos años ha demostrado un problema persistente con el tráfico, robo, pérdidas y otras actividades no autorizadas con materiales nucleares o radiactivos*” (OIEA 2008). A este respecto la OIEA recoge en su base de datos ITBD - Incident and Trafficking Database (OIEA 2018)- todos los incidentes ocurridos con material radiológico. Desde 1993 hasta 2016 los estados miembros de esta organización informaron de un total de 3.068 *incidentes confirmados*, de los cuales 270 se refieren a *incidentes confirmados de tráfico ilícito o con intenciones maliciosas*. En la Figura 8 se recoge la información facilitada por dicho organismo de los incidentes maliciosos.

Según la OIEA, la mayoría de las aprensiones fueron de cantidades de solo \approx g, sin embargo un pequeño número de estos incidentes implicaron la aprensión de cantidades superiores al kg de material nuclear potencialmente utilizable para armamento.

¹² El Dr ElBaradei fue el Director General de la OIEA entre 1997 y 2009. Fue sustituido por el japonés Yukiya Amaro, el cual sigue ostentando este cargo.

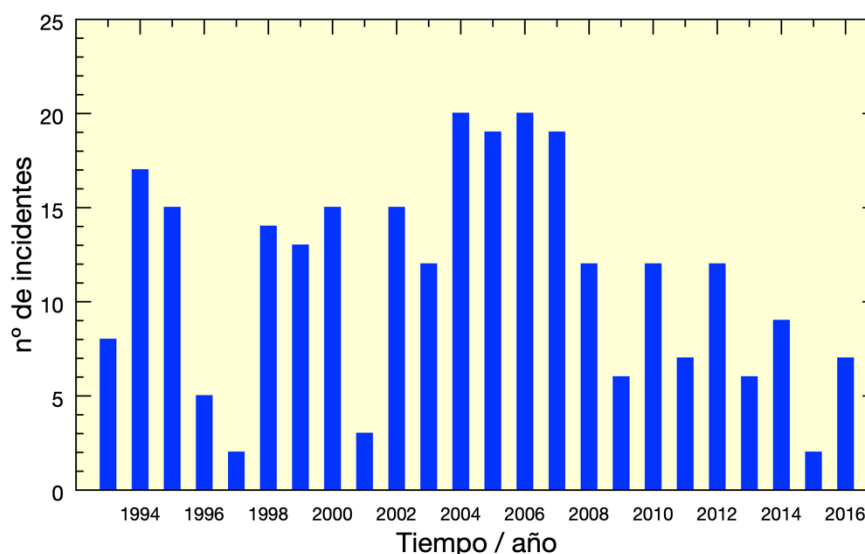


Figura 8. Evolución de los incidentes confirmados en la ITDB relacionados con el tráfico y el uso malicioso (OIEA 2018)

Una vez con la fuente radiactiva en poder del grupo terrorista, el siguiente problema es cómo usarlo. Se pueden plantear dos escenarios diferentes:

1. Artefacto de exposición radiológica (AER <> RED). Entendiendo éste como cualquier dispositivo distinto de un artefacto explosivo nuclear, incluidas armas o equipos, especialmente diseñado para diseminar material radiactivo y causar destrucción, daños materiales o lesiones por medio de la radiación producida por la descomposición de dicho material¹³ (Volders y Sauer 2016). Un artefacto de este tipo podría consistir en la colocación de un emisor γ en un área con una densidad de población elevada, de forma que durante un espacio corto de tiempo se someta a un gran número de personas a una tasa de dosis intensa. Este sistema es poco probable que produzca efectos estocásticos sobre la salud de las personas irradiadas, pero sí provocaría situaciones de pánico en el momento de conocerse. Otra opción sería la de ubicar la fuente de tal manera que irradie a un número limitado de personas durante un tiempo más prolongado. En este caso sí podría llegar a provocar efectos en la salud (incluso la muerte) de alguno de los expuestos, pero el número de afectados sería mínimo.
2. Bomba sucia o dispositivo de dispersión radiológica (DDR <> RDD) (Volders y Sauer 2016). Una bomba sucia es un tipo de RDD en el que la difusión se consigue mediante el empleo de explosivos. El ensamblaje de una bomba sucia es algo más complejo que el mero hecho de unir un cartucho de explosivo a una fuente. Una construcción de este tipo haría que la fuente radiactiva saliera despedida o, como mucho, se fragmentara en pedazos, difíciles de localizar, pero fácilmente controlables y por lo tanto la descontaminación de la zona sería relativamente sencilla (Guardia Civil, Unidad Técnica NRBQ 2016).

Una bomba sucia bien diseñada pulverizaría el material lo suficiente como para dispersarlo y contaminar una amplia zona. El éxito de esta bomba radicaría en el método de dispersión empleado, la cantidad y tipo de material radiactivo, la forma física y química del material (partículas finas o bolas), la topografía del lugar de difusión y las condiciones atmosféricas. Un

¹³ Definición del Departamento de Estado de EEUU de un RDD.

artefacto de este tipo ya fue usado en 1995 por rebeldes chechenos en el parque Izmailovski, en Moscú, cuando colocaron 5 kg de explosivo unido a un fuente radiactiva con 5 Ci \leftrightarrow 185 GBq de ^{137}Cs , y por el mismo grupo al colocar una fuente de ^{60}Co procedente de un aparato de braquiterapia en una carretera en Grozny. Ninguna de estas dos acciones produjo víctimas, pero sirvieron para alertar de la posibilidad de su fabricación y uso por grupos terroristas (Guardia Civil, Unidad Técnica NRBQ 2016). Steve Coll (Coll 2007) en su artículo relata distintos intentos frustrados de este tipo de ataques, como el que se produjo en 2004 cuando la policía británica arrestó a Dhiren Barot y su grupo, cuyo plan era incendiar 10.000 detectores caseros de humo para dispersar el Am que contenían. Por lo que, como sugieren Pomper y Gluck (Pomper y Aaron 2016), muestran cómo los grupos terroristas están interesados en adquirir para sus actividades materiales radioactivos altamente peligrosos.

La comunidad internacional no es ajena a la amenaza de un atentado terrorista que emplee material nuclear o radiológico, por ello la OIEA lleva a cabo diversas actividades de concienciación y preparación ante un eventual suceso de ese tipo.

Tradicionalmente la OIEA se ha centrado más en el ámbito de las salvaguardias, con la intención de prevenir un accidente y la mitigación de sus efectos para volver a la normalidad cuanto antes. En definitiva, se centraba en aspectos de *safety*. Sin embargo este organismo ha venido asumiendo progresivamente un papel cada vez más relevante en el ámbito de la seguridad física o *security*¹⁴, conscientes del daño que puede causar el uso mal intencionado de isótopos radioactivos.



Figura 9. Espectro de las actividades de seguridad física nuclear (OIEA 2013)

En concreto es el área de *Security of Nuclear and other Radioactive Materials* del departamento de *Nuclear Safety and Security* la que se encarga mayoritariamente de este aspecto dentro de la OIEA, llevando a cabo seminarios y publicaciones de gran interés. Cabría destacar por su calidad los trabajos en el ámbito de la “*gestión radiológica de la escena del delito*” y “*seguridad nuclear en grandes eventos*”, ambos eminentemente prácticos y que sirven para concienciar a las fuerzas de seguridad de la necesidad de estar preparados para afrontar atentados con materiales nucleares o radiactivos y de la complejidad que entraña la gestión de este tipo de situaciones.

Otro ejemplo claro de la importancia cada vez mayor que se le está otorgando en el ámbito internacional a la amenaza nuclear, es la creación de la Iniciativa Global Contra el Terrorismo Nuclear, ideada por los presidentes Bush y Putin en la cumbre de julio de 2006 celebrada en San Petersburgo y en cuya declaración de principios se recoge que “*los participantes en la Iniciativa Global contra el Terrorismo Nuclear se comprometen, en virtud de la siguiente Declaración de*

¹⁴ Los términos “*safety*” y “*security*” siempre plantean problemas en cuanto a su traducción al español, ya que en nuestro idioma hay una única palabra: “seguridad”, para definir ambos. En el ámbito de la seguridad nuclear se ha adoptado comúnmente emplear el término “seguridad física” como traducción de “*security*”, mientras que se emplea simplemente “seguridad” para “*safety*”. No obstante, y para evitar confusiones, en este texto emplearemos los términos en inglés.

Principios, a desarrollar la capacidad de asociación para combatir el terrorismo nuclear de una forma decidida y sistemática, acorde con las competencias y obligaciones legales nacionales que les incumben de conformidad con los marcos jurídicos internacionales pertinentes, en particular el Convenio para la Represión de Actos de Terrorismo Nuclear, la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares y su enmienda de 2005 (OIEA 2016) (DSN 2016), y las Resoluciones 1373 y 1540 del Consejo de Seguridad de Naciones Unidas (United Nations Security Council 2004). Hacen un llamamiento a todos los Estados afectados por esta amenaza a la paz y la seguridad internacionales (...)".

Es de señalar que existen fuentes radiactivas más probables que otras de ser utilizadas en RDDs teniendo en cuenta sobre todo su facilidad de acceso por estar presentes en multitud de equipos empleados de forma habitual en la industria y la medicina (OIEA 2005). También debe tenerse en cuenta su periodo de desintegración, pues cuanto mayor sea este, mayor será el tiempo que perduren sus efectos y, muy vinculado a lo anterior, su actividad. Teniendo en cuenta estos factores, algunos autores como Colella (Colella, Michael; Logan, M; S McIntosh; SThomson 2005), afirman que el ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am , ^{90}Sr , ^{192}Ir , y ^{238}Pu son más factibles de ser empleados con fines maliciosos. Sin embargo, y a efectos de este trabajo de investigación, no se discutirá la probabilidad de usar una determinada fuente u otra, hecho que seguramente esté más ligado a su disponibilidad, facilidad de acceso, número de fuentes de ese tipo en circulación, sistemas de control y vigilancia asociados, ..., si no que se estudia el efecto de la dosis total absorbida, lo cual es independiente del isótopo considerado, su estado físico, tipo de radiación emitida, tasa de dosis, etc. Por este motivo se decidió realizar el estudio experimental mediante la utilización de radiación γ , lo cual facilita tanto la determinación de la dosis absorbida como la sencillez y manipulación de los ensayos. No es menos cierto que este tipo de radiación presenta la característica de tener un mayor poder de penetración y por tanto son susceptibles de provocar mayores efectos en los intervinientes y evidencias presentes en la escena del delito.

En definitiva, y a modo de conclusión, de los estudios existentes antes mencionados se puede confirmar la existencia de un riesgo real para nuestra sociedad al existir grupos terroristas, entre los que se incluye Al-Qaeda en cualquiera de sus variedades, que estarían dispuestos a emplear material nuclear o radiológico contra la población. El riesgo de que un grupo terrorista fuera capaz de construir una bomba es muy bajo, dado que es altamente improbable que obtenga material nuclear con el grado de enriquecido necesario y disponga de la tecnología para su realización; sin embargo, el riesgo de materializar una amenaza mediante la utilización de un RDD es mayor, dada la facilidad de poder acceder a fuentes radiactivas. Por último, remarcar que el contrabando de material nuclear y radiactivo es muy difícil de combatir (Bohigas 2013). Todo ello obliga a las fuerzas y cuerpos de seguridad de los países a estar preparados para afrontar este tipo de amenazas.

2.2 Gestión de crisis.

El proceso de gestión de una emergencia está perfectamente definido en la normativa vigente, con la existencia de planes directores, planes territoriales y planes especiales¹⁵. La normativa también establece el sistema de mando y control mediante la creación de distintos puestos de mando según la entidad y en base a quién le corresponda asumir la dirección de la incidencia. En este trabajo, con el único fin de enmarcar la actuación policial en una situación de crisis, se mencionarán los distintos centros de mando y control que se constituirían, para posteriormente proceder a explicar la actuación de las fuerzas de seguridad, en concreto la Guardia Civil, por ser de aplicación directa para los objetivos de esta tesis.

La Norma Básica de Protección Civil (BOE 1992), establece tres niveles de emergencias: nacionales, autonómicas y locales, dependiendo de la relevancia de la emergencia y de los recursos necesarios para su gestión. En todo caso, el Ministro del Interior podrá declarar el interés nacional de una emergencia por iniciativa propia, a instancia de los responsables de la Comunidad Autónoma o del Delegado del Gobierno¹⁶. La normativa también establece que para el caso de conflictos bélicos o emergencias nucleares, la emergencia siempre tendrá carácter nacional.

Dependiendo del nivel declarado, se constituirán diferentes tipos de centros de mando y control. En el nivel más básico se sitúan los Centros de Coordinación Operativa, CECOP, donde se integran los responsables a nivel local y/o autonómico y cuya función principal es la de incorporar en los procesos de toma de decisiones a representantes de los distintos órganos y servicios implicados en la gestión de una emergencia mediante el asesoramiento al órgano de dirección que corresponda (Dueñas Molina 2018). En el caso de que la emergencia fuera grave y se precisaran de recursos no disponibles en la Comunidad Autónoma (C.A.), se establecería un Centro de Coordinación Operativa Integrado, CECOPI, donde también estaría representada la administración estatal, concretamente en la figura del Delegado o Subdelegado del Gobierno. Si la emergencia fuera nacional, se crearía un Mando Operativo Integrado, MOPI, que estaría dirigido por el General Jefe de la Unidad Militar de Emergencias, GEJUME.

A nivel político el mando, o mejor dicho, la coordinación, se ejerce desde el CECO, Comité Estatal de Coordinación, tal y como queda reflejado en la Figura 10 y Figura 11.

¹⁵ La legislación española tiene desarrollado un completo sistema recogido en la Ley del Sistema Nacional de Protección Civil de 17/2015, de 9 de julio, la Norma Básica de Protección Civil (Real decreto 407/1992, de 24 de abril) (BOE 1992) y numerosa legislación complementaria entre la que se encuentra el Plan Básico de Emergencia Nuclear (Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio) (BOE 2004). Todo ello completado con la legislación específica a nivel CA, pues se trata de una materia delegada por el Estado.

¹⁶ Art 9 de la Norma Básica de Protección Civil (BOE 1992).

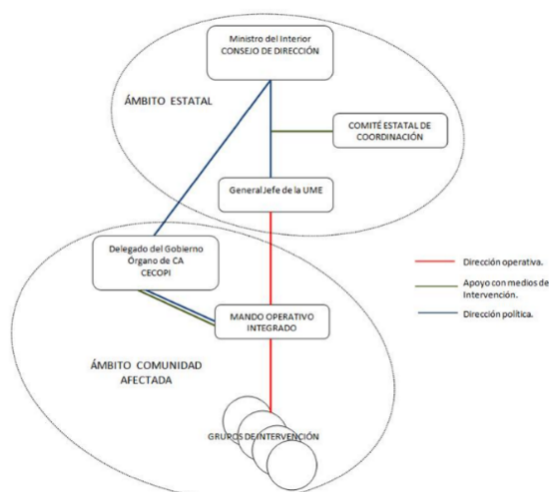


Figura 10. Esquema de la estructura de mando y control de una emergencia.

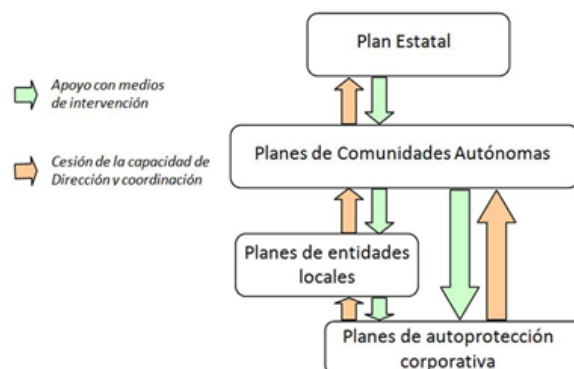


Figura 11. Gráfico sobre la interrelación de los planes de emergencia.

2.3 Actuación en emergencia.

2.3.1 La necesidad de técnicas forenses nucleares en las fuerzas de seguridad.

El art 5 Cartilla del Guardia Civil (Girón y Ezpeleta 1846) dice: *“Procurará ser siempre un pronóstico feliz para el afligido, y que a su presentación el que se creía cercado de asesinos, se vea libre de ellos; el que tenía su casa presa de las llamas, considere el incendio apagado; el que veía a su hijo arrastrado por la corriente de las aguas, lo crea salvado; y por último siempre debe velar por la propiedad y seguridad de todos.”*

Este artículo, copiado de la Cartilla del Guardia Civil redactada en el año 1846 por su fundador, D. Javier Girón y Ezpeleta, Duque de Ahumada, refleja el espíritu del Cuerpo y la predisposición de sus componentes a actuar cualquiera que sea la situación. Sin embargo, esa predisposición debe estar amparada por una formación y unos recursos que permitan al guardia civil llevarla a cabo asumiendo un riesgo controlado

Para cumplir sus cometidos y poder ejercer su vocación de servicio, las fuerzas y cuerpos de seguridad de un país deben estar preparadas para hacer frente a todo tipo de delitos y responder a los requerimientos de la sociedad a la que sirven. Desde su creación, las fuerzas de seguridad han ido adaptándose a los nuevos retos y amenazas, incorporando especialistas según han ido surgiendo las necesidades. De esta manera el 26 de agosto de 1959 se creó la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil cuando el volumen de vehículos hizo imprescindible contar con una unidad especializada que se ocupase de *“la vigilancia, regulación, auxilio y control del tráfico y del transporte, así como garantizar la seguridad de la circulación en las vías interurbanas”* (Dirección General 2014). Lo mismo ocurrió en 1967 con el Servicio de Montaña cuando se popularizó el uso del medio ambiente como ocio y por tanto aumentaron los accidentes y la necesidad de rescates. Y así se podrían describir una a una todas las especialidades de la Guardia Civil: Servicio Marítimo, de Protección de la Naturaleza, hasta un total de más de quince. Una de las últimas en crearse ha sido la Unidad Técnica NRBQ, en el año 2000 y encuadrada en el

Servicio de Desactivación de Explosivos, fruto de la necesidad de hacer frente a la amenaza de una acción delictiva en la que se empleen este tipo de agentes.

En estos momentos las fuerzas de seguridad de los países desarrollados cuentan con unidades especiales para trabajar en entornos contaminados, tanto nucleares, radiológicos, biológicos o químicos. Estas unidades son capaces de llevar a cabo cualquier tipo de actuación policial vistiendo los equipos de protección individual, EPI's. En la Guardia Civil se ha llegado incluso más allá, ya que se ha creado un sistema completo de defensa NRBQ, aprobado por el Director General del Cuerpo en julio de 2004.

Este sistema se articula sobre dos pilares: el de la formación y el del despliegue. Con respecto a la formación se dispone de tres niveles diferentes:

- **Nivel I**, que consiste en una formación muy básica, no mucho más allá de conocer los fundamentos de la radiación, cómo equiparse y establecer un perímetro de seguridad.
- **Nivel II** conlleva una formación mucho mayor. El personal con esta cualificación es capaz de realizar cualquier tarea policial en un entorno contaminado. Son también capaces de recoger muestras e indicios, caracterizar las fuentes y recogerlas si no son demasiado potentes o de gran tamaño.
- **Nivel III** está pensado fundamentalmente para prestar apoyo, tanto a nivel de órgano de decisión asesorando al responsable de la emergencia sobre las medidas a tomar, como a nivel interviniente apoyando técnicamente la operación.

Desde el punto de vista del despliegue, existen también tres niveles diferenciados:

- El provincial, a nivel Comandancia de la Guardia Civil¹⁷, donde hay formados en torno a 40 guardias civiles en nivel I, con el objetivo de reaccionar y cerrar una zona en un corto espacio de tiempo. También a nivel provincial hay al menos un oficial formado con nivel III para asesorar al Jefe de la Comandancia, o a la autoridad política que se hiciera cargo, sobre las medidas a adoptar y el posible alcance de la situación.
- A nivel regional existen las Unidades de Primera Intervención, UPIs, unidades reunidas formadas en nivel II y III que pueden desplazarse a la zona rápidamente y realizar cualquier tipo de actuación en ella.
- Por último, a nivel central se encuentra la Unidad Técnica NRBQ (UT-NRBQ), con personal altamente cualificado que prestaría el apoyo técnico necesario, desplazándose al lugar de la incidencia si fuera necesario y que mantendría el contacto con otros organismos ajenos al Cuerpo como puede ser el CSN.

Entre las misiones que pueden realizar las unidades de la Guardia Civil en un escenario de actuación de tipo radiológico se incluyen:

- Intervención para detener a los presuntos terroristas.
- Cierre de zona y descontaminación de intervinientes.
- Recogida de muestras y evidencias.
- Preparación de muestras y evidencias para su traslado a laboratorios para su análisis.

¹⁷ Una Comandancia de la Guardia Civil es la unidad que se corresponde, normalmente, con el ámbito de una provincia.

Estas actividades, con mayor o menor eficacia, son capaces de realizarlas prácticamente todas las fuerzas de seguridad de los países desarrollados. Lo que no está tan avanzado en la mayoría de los países es cómo y dónde trabajar con esas muestras contaminadas.

A nivel estado es bastante improbable contar con instalaciones propias debido al alto coste que suponen, por lo que dentro de la Unión Europea la mejor opción es llevar las muestras contaminadas radiológicamente al laboratorio de la Comisión Europea el JRC-Karlsruhe, (Karlsruhe, Alemania), donde podrán ser convenientemente tratadas¹⁸.

En España el CIEMAT, a través del convenio firmado con la Guardia Civil el 1/7/2016, ha fabricado y puesto a disposición de este Cuerpo una caja de guantes que permitirá el estudio de un número importante de indicios contaminados.

Sin embargo, el problema no termina encontrando un espacio donde trabajar con el indicio recogido en la escena del delito, hay que determinar hasta qué punto el mismo sigue siendo útil para la identificación de la persona que lo ha dejado.

Hasta el momento la Guardia Civil no dispone de información fiable que permita determinar si un indicio sometido a una tasa de dosis determinada sigue siendo útil para identificar a una persona. Este dato tiene una relación directa con el riesgo que asumen los intervinientes en una escena del delito afectada por radiación, ya que el tiempo de permanencia en el escenario debe regirse por el principio ALARA (FAO; OIEA; ILO; OECD - NEA; PAHO; WHO 1996), evitando permanecer en la zona de exposición más tiempo del estrictamente necesario. No tiene por tanto razón de ser el exponerse a la radiación y/o a ser contaminado para recoger un indicio que ha quedado degradado, y por tanto no es útil para la identificación, por haber recibido una tasa de dosis superior a su umbral de conservación.

En definitiva éste es el objetivo último del presente trabajo doctoral, identificar estos umbrales para evitar riesgos innecesarios a los intervinientes.

Por otro lado debe tenerse en cuenta que las técnicas forenses no se aplican solo a casos delictivos, existe la posibilidad de que tras un accidente nuclear o radiológico sea necesario proceder a la identificación de las víctimas. En este caso vuelve a recaer la responsabilidad sobre las fuerzas y cuerpos de seguridad, las cuales deben ser capaces de desarrollar su actividad en este entorno contaminado. Además debe tenerse en cuenta que la mera tenencia de material radiactivo fuera de control, supone por sí misma un delito¹⁹ (BOE 1995).

2.3.2 Actuación ante un acto delictivo con material NRBQ.

Como en cualquier tipo de actuación, la reacción ante un acto delictivo con material NRBQ basa su éxito en una correcta planificación y previsión de las posibles incidencias que pudieran ocurrir. Como ya se ha mencionado, existen planes de protección civil que cubren todo tipo de

¹⁸ El Centro Común de Investigación (Joint Research Centre - JRC) es una Dirección General de la Comisión Europea. Consta de siete institutos de investigación situados en cinco estados miembros de la Unión Europea y su misión consiste en proporcionar apoyo científico y técnico para la elaboración, desarrollo, aplicación y supervisión de políticas de la Unión Europea, en función de la demanda de estas políticas. Uno de estos siete centros es el Instituto de Elementos Transuránicos (ITU), ubicado en Karlsruhe (Alemania).

¹⁹ Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre del Código Penal. Título XII Capítulo I Sección 1ª De los delitos relativos a la energía nuclear y a las radiaciones ionizantes (BOE 1995)

eventualidades, protocolos de aviso y cooperación entre organismos y planes de evacuación que contemplan los hospitales con capacidad para atender a heridos o afectados por agentes NRBQ. Cuando ocurre un incidente de esta gravedad se van a ver implicados todos los servicios de emergencia a nivel local, regional o incluso nacional dependiendo de su importancia. De una forma simplificada se puede afirmar que si se trata de un accidente o calamidad pública, la dirección de la emergencia corresponde a los servicios de protección civil, y si se trata de un acto malicioso o intencionado, será la autoridad judicial quien, a través de la policía judicial, se haga cargo de su dirección.

La OIEA establece tres aspectos críticos de cara a la gestión de una actuación delictiva mediante el empleo de material radiológico:

- Minimizar los riesgos radiológicos asociados al lugar del incidente.
- Control del material nuclear o radiológico.
- Preservación de las evidencias asociadas al acto delictivo (OIEA 2006).

Centrándose en la actuación de un incidente delictivo en el que hubiera, o se sospeche que pudiera haber, material radiológico, la secuencia de actuación sería la indicada en la Figura 12 (OIEA 2014).



Figura 12. Esquema de las actuaciones a realizar en la respuesta ante un delito (OIEA 2014)

En el caso de que el incidente ocurriera en demarcación de la Guardia Civil²⁰, la gestión del mismo se llevaría acabo de la forma descrita en los apartados siguientes.

2.3.2.1 Recepción de la noticia (Detección).

Para poder actuar, lo primero que hace falta es tener conocimiento del hecho. Normalmente existen dos vías de recibir esta primera información: externa o interna. En el primer caso, un ciudadano advierte una situación determinada y pasa aviso al Centro Operativo de Servicios, COS. El operador del COS que recibe la llamada intenta obtener el máximo de información de

²⁰ El caso de ser en demarcación del CNP sería muy similar, tan solo variarían los nombres del centro de recepción de la noticia, que pasaría a ser una Sala-091, y la denominación de las unidades actuantes.

esta persona, la cual en la mayoría de las ocasiones se encuentra en tal estado de nerviosismo o shock que es incapaz de facilitar una información ordenada y coherente. Es por tanto función del operador obtener el máximo de datos útiles y hacer una primera valoración de la situación. En el caso de que en lugar de una única llamada se produjeran una serie de ellas, mayor será el volumen de información y más herramientas tendrá el operador para actuar en consecuencia.

Es también probable que el ciudadano efectúe su llamada al 112. En todas las salas 112 hay un guardia civil de servicio que, una vez recopilada la información, la transmitiría al COS.

La segunda opción es que la información venga de fuentes internas, bien porque se ha obtenido en el marco de una investigación o porque ha sido una patrulla propia la que se ha encontrado con el incidente. En este caso el operador del COS dispondrá de una información más completa y fiable.

2.3.2.2 Primeros intervinientes (fase de verificación).

Con la información disponible, el operador del COS empieza a movilizar los recursos propios y de otros servicios (bomberos, ambulancias, etc.) que pudieran ser necesarios, transmitiendo la alerta por los cauces previamente establecidos.

Como norma general, los primeros intervinientes en llegar a un incidente son las fuerzas de seguridad, principalmente porque, al contrario que los demás servicios de emergencia que se encuentran de alerta en sus bases, las patrullas policiales están ya desplegadas sobre el terreno, por lo que su tiempo de reacción es inferior.

Como cualquier actividad de las FFCCS, su intervención vendrá determinada por su misión fundamental: garantizar el libre ejercicio de los derechos y libertades de los ciudadanos tal y como viene recogido en el artículo 104 de la Constitución (BOE 1978) y muy especialmente el derecho a la vida y a la integridad física.

El papel de la primera patrulla que llega al lugar del incidente es clave, ya que podrá facilitar información completa, profesional y fiable sobre el mismo, permitiendo una valoración ajustada de lo que realmente está ocurriendo. Por consiguiente, la primera función de esta patrulla será la de informar. Además será la que empiece a ordenar el escenario llevando a cabo las siguientes actuaciones (Jefatura de Policía Judicial 2011):

- Informar inmediatamente al COS y mandos territoriales involucrados. Pedir refuerzos.
- Comprobar que no persiste el riesgo para la Fuerza u otras personas, para lo cual adoptará las medidas de seguridad que estime oportunas.
- Atender a los heridos requiriendo la asistencia de personal médico o disponiendo el traslado de aquellos. Comprobar la existencia de cadáveres. En estas operaciones pueden contar con el auxilio de personal civil. En todo caso se debe procurar no desplazar o mover el mobiliario u objetos salvo los imprescindibles; para ello se intentará utilizar elementos de protección que eviten dejar restos o contaminarse (guantes, pañuelos, etc.)

- Impedir el acceso de personas al lugar. Si a su llegada ya hubiera personas en el mismo, deberán desalojarlas y hacer que permanezcan en las proximidades, para posteriores actuaciones como testigos potenciales.
- Reconocer exhaustivamente el lugar al objeto de verificar la ausencia de personas ocultas (otras víctimas o el propio delincuente), teniendo la precaución de no alterar los vestigios o restos que se hallen en el lugar.
- Acotar el lugar con la señalización adecuada, manteniendo todos los objetos en la misma posición en que fueron encontrados inicialmente. Si no existe suficiente espacio a la entrada, o es muy transitada, acotar un espacio amplio para albergar a los diversos servicios que van a acudir (Policía Judicial (PJ), Juez, ambulancias, bomberos, otros vehículos del Cuerpo, etc.).
- Sin abandonar la misión principal, que es la custodia y preservación de las pruebas, recoger los primeros testimonios de forma verbal, al objeto de contar con la posible identificación de víctimas, autores o testigos.
- Transmitir al COS y mandos afectados las noticias que se vayan obteniendo acerca de los datos de los implicados en el hecho.
- Impedir el acceso al lugar de personas no autorizadas, incluidos los familiares de las víctimas o las personas que vivan en el lugar.
- Tomar nota de la actuación realizada por cada agente, al objeto de determinar qué objetos fueron desplazados y qué zonas fueron pisadas.
- Si se dispone de material idóneo (cinta, cuerda, etc.) señalizar los pasillos que han sido utilizados para el acceso y evacuación de heridos, testigos o sospechosos.
- Si acude el Juez al lugar antes que la Unidad de Policía Judicial, se le participará todos los detalles de la intervención, las pesquisas que se estén realizando y se le informará que se está a la espera de la llegada de los especialistas de la Policía Judicial.

Es en este momento en el que se establecería la estructura de gestión y coordinación necesaria para un evento de estas características, en la que se integrarían todas las administraciones y órganos con competencias y que, cada uno desde su ámbito, puedan aportar su saber hacer a la resolución del incidente.

2.3.2.3 Unidades especializadas (fase de gestión).

Centrándonos en un acto delictivo con material radiológico, según la Instrucción Operativa número 5 de 8 de agosto de 2012 sobre Funciones y Activación de Unidades del Sistema NRBQ d la Guardia Civil, los pasos a seguir son los siguientes:

- En primer lugar se informa al responsable NRBQ de la Comandancia, un oficial con nivel III de formación, el cual movilizará al personal instruido en nivel I y lo enviará inmediatamente a zona.
- Este Oficial tomará las primeras medidas en base a la información disponible, estableciendo un cerco acordonando la zona a la distancia que considere necesaria de acuerdo a los manuales operativos de la Guardia Civil y determinando las zonas de intervención. Acorde con el tipo de incidente ordenará al personal interviniente el tipo de equipo de protección que debe portar y las primeras medidas a adoptar.

- Simultáneamente informará al Jefe de Comandancia²¹ y le recomendará las medidas a adoptar, desde la solicitud de unidades de refuerzo si la situación supera a los recursos de la Comandancia, hasta el desalojo de una zona si fuera necesario. También informará a la UT-NRBQ, donde expertos con alto grado de formación asesorarán desde ese momento sobre las actuaciones a desarrollar y se desplazarán, si fuera necesario, a la zona.
- Así mismo se activaría la UPI más próxima, que normalmente se encuentra en la capital de la Comunidad Autónoma donde se haya producido el incidente.
- También se activarían otras unidades especializadas de la Guardia Civil de acuerdo con la situación concreta: como la Agrupación de Tráfico, el Servicio Aéreo, Equipos de Desactivación de Artefactos Explosivos, Equipos Cinológicos o la Unidad Especial de Intervención si fuera necesario.

En estos primeros momentos se solicitará a las unidades intervinientes que recaben información relevante que pueda aportar datos para concretar el nivel de riesgo, entre ellos se insistirá en buscar si existe algún cartel o placa de peligro radiactivo; existencia de instrumentos como contadores Geiger-Müller, detectores de radiación o dosímetros; guantes, botas o trajes de protección, así como respiradores o mascarillas; contenedores especiales de los empleados para transportar o almacenar material radiactivo; efectos inusuales en los presentes que puedan sugerir exposición a radiación, como por ejemplo enrojecimiento de la piel o vómitos; o cualquier material que emita calor o luminiscencia sin que exista una fuente de calor o energía externa.

En concreto, la unidad con Nivel I al llegar a la zona llevará a cabo las siguientes actuaciones:

- Analizar y valorar los posibles riesgos que puedan surgir a consecuencia del incidente.
- Solicitar información a los Organismos de Referencia a través de la UT-NRBQ²².
- Tener en cuenta las condiciones meteorológicas (lluvia, dirección del viento, etc.), ya que dicha información será fundamental a la hora de intervenir o, en su caso, de establecer un Plan de Evacuación o Confinamiento de la población.
- Efectuar la debida compartimentación por zonas de la emergencia teniendo en cuenta la información disponible, ya que la misma variará en función de la naturaleza del agresivo, modo de dispersión del mismo, cantidad y factores meteorológicos y orográficos. Como referencia se consideran las distancias recogidas en la Tabla III.
- Establecer un único punto de entrada y salida para los equipos de emergencia, impidiendo el acceso a la zona del incidente a personas y vehículos sin la debida autorización.
- Filiación de toda persona que haya estado en el lugar de la emergencia.
- Establecer un área de descontaminación.

²¹ Coronel o Teniente Coronel de la Guardia Civil responsable de una provincia.

²² En materia de riesgo nuclear o radiológico los Organismos de Referencia a los que hace referencia la Instrucción operativa núm., 5 son el CSN y ENRESA.

Tabla III. Clasificación de zonas para la respuesta en función del incidente producido.

INCIDENTE	ESPACIOS ABIERTOS		ESPACIOS CERRADOS
Incidente Nuclear/radiológico	Con detección	Zona Caliente: >100µSv/h	Mismas medidas que en espacios abiertos con detección.
		Zona Templada: entre 100µSv/h y 0.30µSv/h	
		Zona Fría: fondo radiactivo natural ²³	
	Sin detección	Mínimo 200 m.	Sin incendio ni humos: zonas afectadas y adyacentes.
		Con incendio, explosión o humos fuentes radiactivas: mínimo 300 m	Con incendio, explosión o humos: <ul style="list-style-type: none"> • Edificio completo. • Cerrar sistemas de aire acondicionado y ventilación. • Cerrar puertas y ventanas.
Artefactos explosivos + NRBQ	Hasta la llegada de los TEDAX una distancia no inferior a los 400m		

Con la llegada de las unidades de primera intervención (UPIs), con formación en nivel II y III, se revisarán y reforzarán las medidas anteriormente recogidas, se procederá a la detección e identificación del agresivo NRBQ y a efectuar la señalización de las zonas de peligro y de los agresivos existentes.

2.3.2.4 Intervención en la zona contaminada (gestión).

En este momento la zona del incidente se encontraría completamente aislada, ya habrían llegado todos los equipos de intervención necesarios y se habría procedido a la neutralización de los posibles terroristas por lo que los equipos podrán trabajar con seguridad. En su caso, también se habría procedido a la desactivación de los artefactos explosivos. Las víctimas, si las hubiera, habrían sido evacuadas, con o sin descontaminación previa, de acuerdo con los planes previamente establecidos y a los hospitales designados con capacidad de atender este tipo de heridos.

La UPI procedería a la caracterización de la fuente radiactiva, de haberla, y determinaría los niveles de radiación existentes para establecer los tiempos permitidos de permanencia en la zona caliente.

Seguidamente se retiraría la fuente o fuentes de la escena del delito y la zona quedaría en condiciones para que los equipos de policía judicial encargados del estudio de la escena del delito pudieran iniciar su trabajo.

Toda la secuencia anterior no tiene por qué desarrollarse de forma sucesiva y en el orden en el que se ha descrito, sino que se desarrollará con la conveniente flexibilidad de acuerdo con los factores concretos de la escena, condicionados por la presencia de elementos terroristas armados, personas heridas, etc., pero en todo caso se llevará a cabo de forma ordenada y siguiendo las directrices del mando que dirija las operaciones.

²³ <0.30µSv/h media del fondo radiactivo medio en España.

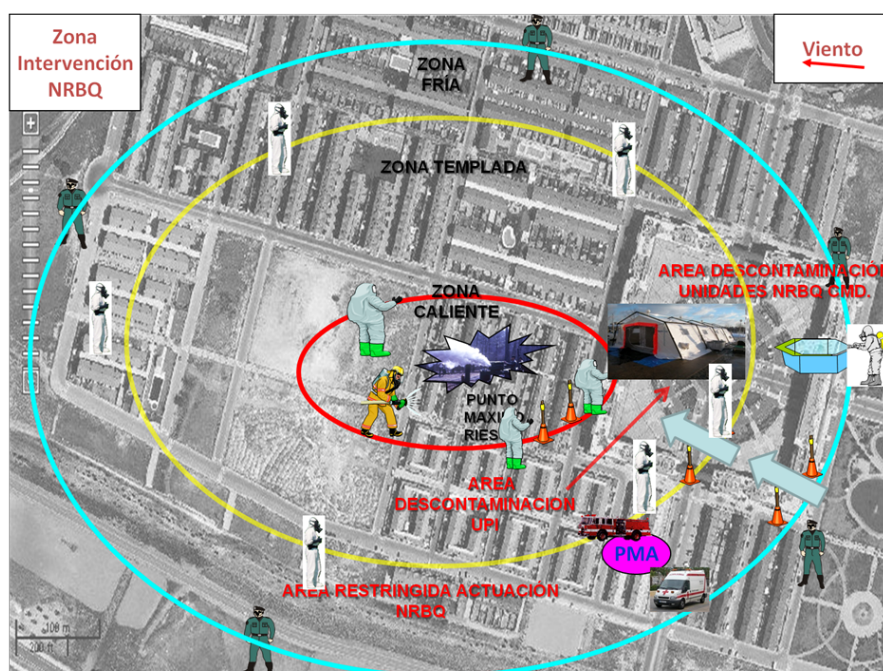


Figura 13. Esquema de la clasificación de zonas para la respuesta ante un incidente NRBQ (ver Tabla III).

Un aspecto crítico en este tipo de situaciones que no puede obviarse y que hay que tratar con la máxima responsabilidad es la información pública.

Una vez controlada la incidencia, se procederá al estudio de la escena del delito, con el fin de averiguar qué es lo que ha ocurrido realmente e identificar a los autores.

2.4 Técnicas forenses.

La ciencia forense puede definirse como el examen de evidencias físicas, biológicas, de comportamiento y documentales en el contexto de la ley nacional o internacional. Su objetivo es descubrir enlaces entre personas, lugares, cosas y sucesos. La ciencia forense nuclear es una subdisciplina de la ciencia forense consistente en el examen de material nuclear o radiactivo, o de las evidencias que han sido contaminadas con radionucleidos, en el contexto de un procedimiento legal relativo a la seguridad nuclear. La inspección ocular en estos casos debe llevarse a cabo de forma segura para garantizar la protección de las personas, el entorno y las evidencias (OIEA 2015).

Al centrarse este trabajo en la influencia de campos de radiación en las pruebas forenses convencionales se consideró de interés realizar una breve revisión de las mismas. Como es de sobra conocido desde su aparición, la ciencia forense nuclear se ha centrado fundamentalmente en los estudios y avances relativos a la caracterización de los materiales, dejando hasta hace pocos años como secundaria la evaluación de las evidencias forenses clásicas. No obstante, en el contexto de la forense nuclear, la Organización Internacional de la Energía Atómica mantiene que este tipo de examen “*presenta un desafío único*” (OIEA 2015), por lo que organiza con frecuencia reuniones para avanzar en su desarrollo conjunto a nivel internacional (OIEA 2015).

Esta “nueva” área de conocimiento denominada forense nuclear, se basa en la estandarización de normas y procedimientos que permitan garantizar que los productos, servicios y sistemas sean trazables, seguros y con una consistencia elevada. Para ello se establecen sistemas de acreditación para los laboratorios nacionales mediante acuerdos internacionales que dan robustez a los análisis realizados. (Wilson-Wilde 2018). España es un país que está participando de manera activa en esta estandarización y las fuerzas y cuerpos de la seguridad del estado (Guardia Civil y Policía Nacional) tienen debidamente acreditados sus laboratorios forenses a nivel nacional, de la Unión Europea e Internacional. Todos los análisis forenses que se presentan en este trabajo de investigación se han realizado por los Laboratorios acreditados de la Guardia Civil.

Hasta el momento ha habido relativamente pocas investigaciones sobre el impacto y efectos de la radiactividad (fundamentalmente radiaciones electromagnéticas) en el análisis del ADN, incluso cuando el perfil de ADN tiene una particular relevancia dada su efectividad en la identificación de personas involucradas en la planificación, preparación y comisión de actos terroristas. Además, el ADN puede ser extraído de multitud de evidencias (sangre, pelo, piel, células depositadas en distintos sustratos, cigarrillos...) localizadas en la escena.

Las técnicas forenses están basadas en el “*principio de intercambio o transferencia*”, también conocido como “*principio de Locard*” (Locard 1923), en reconocimiento a su autor, el criminalista francés Edmond Locard²⁴. Este principio sostiene que en un delito siempre intervienen tres factores: el autor, la víctima y el escenario, de tal manera que cada uno de ellos deja restos en los otros dos y que, citando literalmente al autor, “*Il est impossible au malfaiteur d’agir avec l’intensité que suppose l’action criminelle sans laisser des traces de son passage*”, que traducido al castellano significa “es imposible que un criminal actúe, especialmente en la tensión de la acción criminal, sin dejar rastros de su presencia” (Locard 1923).

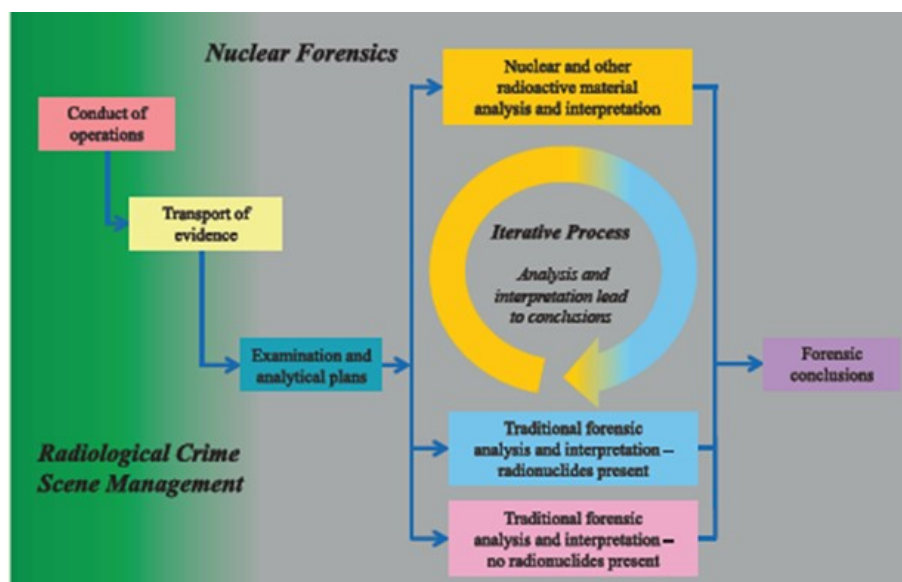


Figura 14. Gestión de la escena del delito (OIEA 2014).

²⁴ Nacido en Saint-Chamond, Ródano-Alpes, el 13 de diciembre de 1877 y fallecido en Lyon, el 4 de mayo de 1966, escritor del *Traité de Criminalistique*, verdadera enciclopedia sobre criminalística escrita en 1923 y en la que recogió principios que siguen vigentes hoy en día.

2.4.1 Inspección técnica ocular. Análisis organoléptico.

En toda investigación, la “inspección técnica ocular” de la escena del delito, también llamada simplemente “inspección ocular”, es fundamental, ya que es en ella donde se localizaran los indicios y evidencias que permitirán saber qué ha ocurrido y quién ha estado presente en ese lugar²⁵. Por inspección ocular se entiende el conjunto de observaciones, comprobaciones y operaciones técnico policiales que se realizan en el lugar de un suceso a efectos de su investigación, con los fines de comprobación de la realidad del delito o accidente, identificación del autor o autores, demostración de su culpabilidad y de las circunstancias que han ocurrido en los hechos (Fernández Villarzala y García Borrego 2010). Se puede afirmar que es ésta una de las funciones primordiales de la policía judicial, siendo sin duda la diligencia más difícil de ejecutar, ya que la misma no es un fin en sí mismo, sino un medio para que un juez dicte si una o varias personas deben responder por lo que allí ha sucedido. Su práctica viene recogida en el artículo 326 de la Ley de Enjuiciamiento Criminal (BOE 1982): *“Cuando se pusiera de manifiesto la existencia de huellas o vestigios cuyo análisis biológico pudiera contribuir al esclarecimiento del hecho investigado, el Juez de Instrucción adoptará u ordenará a la Policía Judicial o al médico forense que adopte las medidas necesarias para que la recogida, custodia y examen de aquellas muestras se verifique en condiciones que garanticen su autenticidad (...)”*.

Por este motivo no se trata simplemente de recoger indicios, sino que éstos deben recogerse de una forma metódica, estructurada y con unos procedimientos que garanticen su inmutabilidad, de tal manera que en el momento del juicio se pueda probar que ese indicio concreto, y no otro, fue el recogido en la escena del delito, y está relacionado con una u otra persona.

La inspección ocular se basa en el principio de transferencia, ya explicado anteriormente, entre el autor, la víctima y la escena de delito. En cualquier suceso, el autor deja indicios de su actuación en la víctima y en la escena (semen, piel, huellas, etc.). Lo mismo ocurre con la víctima, que también deja trazas en el autor y la escena (sangre, huellas, etc.) y la propia escena, que también dejan su marca en los otros actores (barro, óxido, ...). El objeto de la inspección ocular es encontrar cuantas evidencias de esa transferencia sea posible, de forma que pueda probarse sin lugar a dudas lo que ocurrió.

Un aspecto que conviene aclarar es la diferencia entre indicio, evidencia, muestra, prueba y pieza de convicción. Por indicio entendemos en este contexto cualquier elemento de la escena del delito cuyo estudio, a priori, pueda resultar de interés. Un indicio pueden ser huellas, marcas en la madera, pelos, armas, etc. Por tanto, en la escena del delito se recogen indicios.

Una vez estudiado este indicio y determinadas sus características y su papel en los hechos, pasa a denominarse evidencia.

Por otra parte, una muestra es toda sustancia o materia con características propias, cuyo análisis individual tiene interés para la investigación o prueba de los hechos. Por último, prueba, desde el punto de vista jurídico, es la demostración o justificación de la existencia real de los hechos alegados. Las piezas de convicción están constituidas por todos aquellos efectos,

²⁵ Existe diferente terminología para referirse a esta actuación de la policía judicial, alguna de ella, como gestión de la escena del delito, de clara influencia anglosajona (crime scene management). En este trabajo se empleará el término “inspección ocular” por ser el que emplea la LeCrim en su título IV, Capítulo I: De la inspección ocular.

instrumentos, etc. relacionados con el delito y que han sido intervenidos o recuperados por la Unidad que instruye las diligencias y que, consecuentemente, son puestas a disposición judicial.

Volviendo a la inspección ocular, lo primero que debe tenerse en cuenta es que es un acto único, ya que al llevarla a cabo ineludiblemente se alterarán aspectos de la escena que la contaminarán. Por ello debe planificarse convenientemente y desarrollarla de una forma metódica y exhaustiva. También debe tenerse en cuenta que la escena del delito no es algo inmutable, ya que va variando constantemente, por lo que es importante efectuar su estudio a la mayor brevedad posible para evitar que desaparezcan evidencias. Existen indicios que son muy volátiles y que desaparecen de forma casi inmediata, como pueden ser los olores y los gases (perfume, humo, éter, butano...), otros que se ven afectados por las propias condiciones de la escena (lluvia, calor excesivo, fuego, ...), y, en general, todos los indicios se degradan con el tiempo y pierden su carácter identificador.

Es por ello importante iniciar la inspección ocular lo antes posible, siempre teniendo en cuenta la seguridad de los intervinientes. Existen distintos manuales de procedimientos para tratar una escena del delito, todos son muy similares y se diferencian fundamentalmente en el nombre que se le da a cada fase y a la persona o personas que la realizan. No es el propósito de este trabajo hacer una descripción exhaustiva de las distintas fases de la gestión de la escena del delito ni revelar técnicas o procedimientos empleados, sin embargo sí se considera necesario hacer una descripción de su ejecución y de las distintas fases que la componen (ver Tabla IV).

Es importante destacar que las primeras unidades que llegan a una escena del delito no son las de especialistas encargados de llevar a cabo la inspección ocular, sino aquellas que están de patrulla en la zona del incidente. Por ese motivo sus primeras actuaciones serán las siguientes (ver Tabla IV):

- Delimitar y aislar la zona (con señalización visual y suficientemente amplia) impidiendo que entren personas extrañas que puedan alterar el lugar, adoptando las medidas convenientes para evitar la contaminación de la escena del hecho (tanto por personas ajenas como por la propia Fuerza actuante).
- Localizar si es posible a las personas que hayan intervenido en la escena del hecho (víctimas, testigos, autores u otras), manteniéndolas separadas unas de otras.
- Recopilar todos los datos que hayan podido obtener en relación al hecho, sus autores, víctimas, circunstancias de su comisión, etc.
- Comunicar al COS y a sus mandos la información que por su contenido pueda conducir a la inmediata localización y detención de los autores.
- Entregar al personal de la unidad de policía judicial que se haga cargo de la investigación los efectos que, por las circunstancias excepcionales del caso, hayan sido retirados o recogidos; en este caso tal recogida se habrá realizado con las prevenciones oportunas que impidan deformar o deteriorar los indicios (uso de guantes, envoltorios, etc.) (Jefatura de Policía Judicial 2011).

Tabla IV. Fases de actuación establecidas en la inspección ocular según INTERPOL (OIEA 2014).

Fases	Descripción
Etapa 1	Preparación para las operaciones
Etapa 2	Acercarse a la escena con seguridad
Etapa 3	Asegurar y proteger la escena
Etapa 4	Iniciar un reconocimiento preliminar de la escena
Etapa 5	Evaluar evidencias físicas
Etapa 6	Preparar descripción narrativa de la escena
Etapa 7	Representar escena fotográficamente
Etapa 8	Elaborar croquis de la escena
Etapa 9	Realizar búsqueda detallada
Etapa 10	Registrar y recopilar evidencias
Etapa 11	Realizar evaluación final de la escena
Etapa 12	Liberación de la escena a la autoridad apropiada

La primera etapa se refiere fundamentalmente a la preparación del equipo tanto humano, como técnico. La formación del equipo humano requiere tiempo, ya que un buen especialista no se consigue solo con una formación técnica adecuada, sino también con la práctica del día a día y la casuística que se va encontrando en su trabajo en escenarios reales²⁶. En cuanto al material y equipo técnico, todos los equipos de PJ disponen de unos maletines completos con todo el equipo que pueden necesitar, que serán completados en base al escenario al que van a enfrentarse.

La segunda etapa consiste en acercarse a la escena con seguridad. En primer lugar se debe prestar auxilio y socorro a las posibles víctimas y neutralizar el riesgo, deteniendo al agresor si aún estuviera allí, apagando el incendio, etc.

Inmediatamente debe procederse a la etapa tres, de aseguramiento o aislamiento de la escena, protegiendo el escenario, no solo mediante un cinta que impida el paso, sino también adoptando medidas necesarias para evitar la degradación de los posibles indicios.

Simultáneamente se debe llevar a cabo lo que también se denomina fase de indagación preliminar, en la que se debe recopilar información de cualquier posible peligro que pueda afectar al interviniente, como por ejemplo que pueda haber riesgo derrumbe, existencia de trampas explosivas, radiaciones, contaminantes químicos etc. En este apartado hay que recopilar el máximo de información posible sobre la escena del delito: si se vio a alguien abandonarla, quién ha entrado en ella y si ha podido contaminarla, ya que es normal que el primer interviniente que llegue entre para ver qué ha ocurrido, o incluso los equipos de emergencia hayan tenido que atender a alguien en el interior; y cualquier detalle que pueda ayudar a interpretar los indicios que aparecerán posteriormente. Es fundamental identificar a estas personas y obtener muestras discriminatorias que permitirán posteriormente descartar indicios dejados por ellos de aquellos dejados por los responsables de la acción delictiva.

²⁶ La formación de los especialistas en Policía Judicial es tan importante que el RD 769/1987 (BOE 1987) , sobre regulación de la Policía Judicial le dedica un capítulo entero, el IV, a esta materia.

La cuarta fase, de reconocimiento inicial de la escena u observación, se lleva a cabo antes de comenzar la búsqueda de evidencias, con el fin de localizar indicios visibles y detectar el foco principal del hecho para efectuar una evaluación y planificación previa. De esta manera se establecerá el orden y la prioridad de trabajo y puede permitir recoger alguna muestra que sirva para la identificación inmediata del responsable.

A continuación se establecerán pasillos de entrada debidamente controlados. A partir de este punto empieza el trabajo minucioso de registrar la escena, con fotografías (panorámica, generales y de detalle), croquis y video, y recogida de indicios para su posterior estudio. Las evidencias deben ser recogidas de forma que permitan la identificación del lugar del que se retiraron, que no se alteren, y guardadas en bolsas o cajas dependiendo del tipo de muestra para evitar contaminación y/o degradación de la misma. Es importante que el equipo que realiza este trabajo vaya correctamente equipado para evitar depositar ellos mismos indicios.

Finalmente se hará una revisión que confirme que no se ha dejado ninguna evidencia sin recoger y se devolverá el control de la escena a la unidad que desarrolla la investigación.

Todos estos pasos son comunes en las escenas convencionales del delito y en aquellas en las que se sospeche exista contaminación, sea radiológica, química o biológica. Tan solo variará en los siguientes aspectos:

- Preparación: el personal interviniente deberá tener formación NRBQ para ser capaz de trabajar con los trajes de protección adecuados y conocer los riesgos asociados a su intervención y medidas necesarias para prevenirlos. También deberá incluirse material necesario en cuanto a medidores, descontaminantes y embalajes adecuados para retirar las muestras.
- Asegurar y proteger la escena: deberán calcularse las distancias de seguridad necesarias en base al tipo de contaminación y establecerse las medidas necesarias para la descontaminación de los intervinientes.

Por gestión de la escena de un delito radiológico entendemos el proceso empleado para desarrollar de una forma segura, efectiva y eficiente las operaciones en una escena del delito donde están, o pudieran estar, presentes material nuclear o radiactivo. Estas operaciones son similares a las empleadas en una escena del delito convencional, entendiendo ésta como aquella en la que no hay presencia de material radiactivo, sin embargo existen ciertas diferencias que deben tenerse en cuenta, como son:

- a) Tiempo empleado en la zona contaminada y control de accesos.
- b) Distancia entre la evidencia contaminada y la persona encargada de recogerla.
- c) Protección entre la evidencia y el individuo que la recoge.
- d) Contaminación por radionucleidos.
- e) Exposición individual a la radiación (OIEA 2014)

En estos casos la forma de actuar en la escena está condicionada por el riesgo radiológico, y por tanto deben aplicarse los consabidos parámetros de tiempo, distancia y protección (ver Figura 15).

Un primer inconveniente lo plantea el empleo del tiempo. En una inspección ocular convencional se dispone de todo el tiempo necesario, sin embargo, en una escena contaminada los intervinientes tendrán limitado su tiempo de exposición y por tanto de permanencia en la escena del delito, lo que obligará a relevos que dificultarán la continuidad del trabajo. El factor protección obligará a vestir equipos de protección individual, EPIs, que impedirán moverse con soltura y precisión a los intervinientes y harán su trabajo mucho más complejo. Por último, el factor distancia obligará, desde un punto de vista general, a establecer perímetros de seguridad muy grandes, forzando desalojos y cortes de vías, a establecer una zona de seguridad interior al perímetro donde se preparen los intervinientes y se contemple la posibilidad de realizar labores de descontaminación sencillas compatibles con las actuaciones forenses, mientras que a nivel interviniente, condicionarán a emplear pértigas para la recogida de algunas evidencias.

En todo caso, deberá minimizarse el número de personas que trabaje en la zona acotada (bien por la existencia de contaminación y/o por la presencia de campos de radiación (tasa de dosis), para evitar el contacto directo con los radionucleidos o, en el caso de que fuera imposible por las tareas que tuvieran que realizar, limitar dicho contacto mediante el uso de herramientas apropiadas. También se debe evitar o limitar el trasiego en las zonas de material radiactivo y evitar la contaminación de personas y equipos. En todo caso debe aplicarse el principio ALARA, procurando siempre minimizar el tiempo de exposición, maximizar la distancia y emplear medios de protección adecuados para reducir la exposición a la radiación.

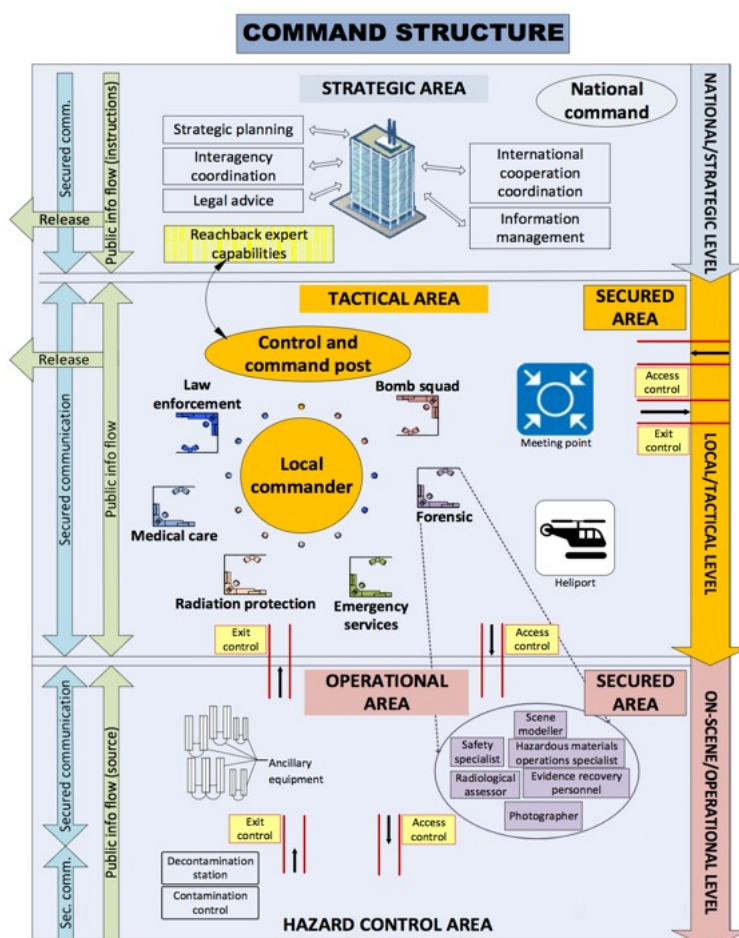


Figura 15. Estructura de mando integrada para la gestión de escenario de crimen radiológico (OIEA 2014)

En la gestión de la escena del delito radiológico es imprescindible incluir también una nueva figura importante, que es la del especialista en riesgos radiológicos, que en el caso de una actuación liderada por la Guardia Civil la ostentará una persona con titulación nivel III, fundamental para garantizar la seguridad de los intervinientes.

2.4.2 Reseña.

Según el Manual de Policía Judicial de la Guardia Civil, donde se regula la doctrina común y procedimientos técnicos y operativos de las unidades del Cuerpo en el desarrollo de sus misiones como policía Judicial²⁷ (Dirección General 2011), se denomina “reseña” al conjunto de datos o muestras indubitadas obtenidas de una persona física, mediante procedimientos técnicos, que permiten su plena identificación forense al ser comparadas con una muestra recogida en la escena del delito.

Existen dos tipos de reseñas, la básica y la complementaria. La básica se realiza, como norma general, a todas aquellas personas que tienen o pueden tener relación con un delito, o a aquellas que por un motivo u otro se deben identificar, como por ejemplo a cadáveres y personas amnésicas encontradas o aquellas que desconocen su identidad. Por su parte la reseña complementaria se define como cualquier otra forma de reseña que, utilizando las técnicas que en cada caso la ciencia forense permita aplicar, facilite la identificación indubitada de personas.

La reseña básica es el conjunto de tres reseñas parciales: lofoscópica, fotográfica y descriptiva o antropológica. La reseña parcial lofoscópica, de mayor interés para este trabajo de investigación, consiste en la recogida de las rodadas y posadas de todos los dedos de las dos manos, reseña palmar y borde hipotenar (marca de escritor) de ambas manos en una tarjeta predeterminada.

Dentro de las reseñas complementarias, las más comunes son las dentarias, acústicas (voz), otras reseñas lofoscópicas (por ejemplo pies o lóbulos de las orejas) y genéticas. Por reseña genética el Manual de Policía Judicial (Dirección General 2011) entiende la obtención del ADN y aplicación del procedimiento científico identificativo en el laboratorio correspondiente (SECRIM).

2.4.2.1 *El ADN.*

2.4.2.1.1 El ADN como elemento identificador.

Excepto en los gemelos univitelinos, el ADN de una persona es único. Esto se debe a que un cromosoma de cada par se hereda del padre y el otro de la madre. Cada cromosoma de un par dado es totalmente independiente del otro, lo que conlleva que el número de combinaciones posibles que pueden producirse en una persona es de $2^{23 + 23} = 2^{46}$. La combinación de cromosomas que presenta un individuo se denomina genotipo (Castro del Barrio 2016). La prueba pericial del ADN, también llamada prueba genética, se ha convertido en un elemento fundamental y de gran utilidad en la resolución de determinados problemas judiciales relacionados con la identidad biológica. Es una prueba basada en el estudio de la diversidad genética humana que permite individualizar e identificar a las personas implicadas en distintos tipos de sucesos.

El ADN es una macromolécula portadora de la información genética, localizada en la célula y con una estructura consistente en una hélice formada por una doble cadena en la que los eslabones serían unas unidades químicas denominadas nucleótidos, constituidos por ácido fosfórico, desoxirribosa y una base nitrogenada cíclica (púrica o pirimidínica). Existen cuatro

²⁷ La última versión de este manual fue aprobada por el Teniente General Director Adjunto Operativo en mayo de 2011. Este manual tiene clasificación de confidencial, elaborado para uso interno de la Guardia Civil, por lo que las referencias al mismo se harán únicamente en aquellos ámbitos que no estén clasificados.

nucleótidos distintos que se diferencian en la base que portan: purinas A (adenina) y G (guanina) o pirimidínicas C (citosina) y T (timina), identificados a partir de los trabajos realizados en 1975 por F. Sanger et al. (Sanger y Coulson, A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase 1975) (Sanger, Nicklen y Coulson, DNA sequencing with chain-terminating inhibitors 1977) que desarrollaron el primer método para la secuenciación del ADN basado en la incorporación selectiva de didesoxinucleótidos para limitar el crecimiento de las cadenas. Estos experimentos, por los que recibió el premio Nobel en 1980, permitieron la replicación in vitro del ADN, y realizar su lectura letra a letra, hecho que fue la clave para el inicio en 1988 de lo que años después se convirtió en el proyecto Genoma Humano (International Consortium Completes HGP 2003), determinando en 2003 que el ADN humano está formado por más de 3 millones de letras A, G, C y T y solo por ellas (Figura 16). Por tanto, puede decirse que el alfabeto del ADN está compuesto por cuatro letras cuya combinación a lo largo de la molécula puede dar lugar a infinitud de secuencias distintas. El orden o secuencia en que se disponen los diferentes nucleótidos a lo largo de la cadena determina la información genética.

El ADN presenta dos características principales que le dan un gran valor como prueba identificativa:

- Es idéntico en todas las células del cuerpo humano, con excepción de los gametos, los cuales tienen un único cromosoma. En el momento de la reproducción y juntarse el óvulo y el espermatozoide formando el cigoto vuelve a configurarse el par de cromosomas, lo cual es precisamente el factor que permite llevar a cabo las pruebas de paternidad.
- El ADN es inmutable, salvo en casos muy puntuales que suelen terminar en terapias génicas o procesos tumorales, lo que permite realizar un análisis de cualquier célula sabiendo que el resultado va a ser el mismo con independencia del tejido al que pertenezca y el momento en el que se realice.

El empleo del ADN como técnica identificativa se debe a Alec Jeffreys, quien determinó en 1984 la existencia de una huella genética única para cada individuo, con la excepción de los gemelos univitelinos (Newton 2004). El primer caso resuelto aplicando esta técnica fue un conflicto de inmigración en el que se denegaba la entrada en Reino Unido a un inmigrante de Ghana tras un viaje de unos días a París, alegando que sus documentos parecían falsos. El estudio genético permitió confirmar los lazos sanguíneos entre este inmigrante y su familia, residentes legalmente en el país, por lo que finalmente se le permitió

la entrada (Jeffreys, Wilson y Thein, Hypervariable 'minisatellite' regions in human DNA 1985) (Jeffreys, Wilson y Thein, Individual-specific 'fingerprints' of human DNA 1985).

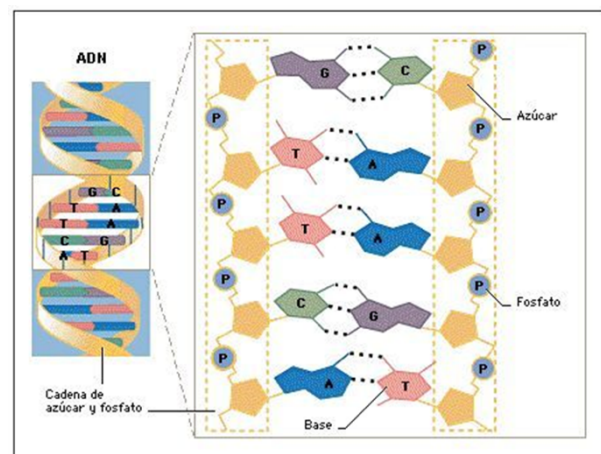


Figura 16. ADN Estructura y Funciones (Wordpress s.f.)

No obstante, el primer caso relevante en materia criminal fue el descubrimiento del autor de dos casos de violación y posterior asesinato ocurridos en 1983 y 1986 en Narborough, Reino Unido. El éxito de este caso residió en poder exculpar al presunto autor, Richard Buckland, que resultó inocente tras poder comprobar que el ADN encontrado en las víctimas no correspondía con el suyo, y la posterior identificación de Colin Pitchford como verdadero autor. Para llegar a esta conclusión se procedió al tipado de los 500 hombres con edades comprendidas entre 13 y 33 años residentes en la zona, siendo ésta la primera referencia de tipado masivo que se conoce²⁸. El ADN de Colin no apareció entre estas 500 muestras, ya que se las ingenió para que fuera otra persona quien entregara las pruebas genéticas en su lugar, sin embargo, posteriores investigaciones dieron con él y finalmente pudo realizársele la prueba, comprobándose que era suyo el ADN encontrado en las víctimas (González Medina, El análisis criminalístico del ADN: de la detección a la detención. 2012).

Tras el éxito del descubrimiento del método de identificación por ADN de Jefreys, se siguió investigando las posibilidades del ADN, obteniendo cada vez resultados más precisos y definitivos en la identificación de personas.

En Genética Forense se denomina Perfil Genético al resultado obtenido del estudio de un conjunto de marcadores genéticos que permiten identificar a un individuo concreto dentro de la población a la que pertenece. En el campo de la Identificación Forense, los marcadores más utilizados son las secuencias cortas repetidas en tándem o STRs (Short Tandem Repeats), que se encuentran repartidas por todo el genoma. La peculiaridad en estas regiones es que siguen una herencia mendeliana²⁹, por lo que cada progenitor transmite un número de repeticiones distintas (alelos³⁰).

Los polimorfismos genéticos son regiones o secuencias hipervariables de ADN que se distribuyen a lo largo del genoma y están presentes en todos los individuos,. Su gran utilidad e importancia viene dada por la variabilidad que presentan entre las personas. Cada gen en concreto se encuentra en el mismo lugar de un cromosoma determinado, este lugar se denomina locus (en plural loci). Las distintas variedades de cada región, situada en un locus específico, se denominan alelos. Cada locus tiene 2 alelos, uno por cada cromosoma del par, heredados respectivamente de la madre y del padre. La mayoría de los polimorfismos que se utilizan en genética forense son zonas del genoma que no tienen expresión génica por lo que se localizan en el ADN “no codificante”, y se encuentran tanto en el ADN nuclear como en el ADN mitocondrial (Jiménez Moreno 2013). Desde este punto de vista, un marcador genético lo constituye cualquier fragmento de ADN que presente variabilidad en la población humana, es decir que presenta distintas variantes en distintos individuos.

Existen dos tipos de polimorfismos de:

- *Secuencia*, por el que los alelos de un mismo locus se diferencian en la base (A, C, G o T) presente en una o más posiciones concretas;

²⁸ Esta misma práctica intentó llevarla a cabo la Guardia Civil en Algete, Madrid, tras la violación y asesinato de Eva Blanco en 1997, sin embargo, y pese a que ya había más de 2000 voluntarios para colaborar y el laboratorio de biología de la GC lo tenía todo preparado, finalmente el juez de instrucción no autorizó la diligencia. El caso sigue todavía sin resolver.

²⁹ La “mitad” del ADN de una persona procede del padre y la otra “mitad” de la madre biológicos. De esta forma los cromosomas se agrupan en 23 pares de cromosomas homólogos, y en cada par uno procedería del padre y otro de la madre.

³⁰ Al número de veces que se repite una secuencia en un STR o marcador se le llama alelo

- *Longitud*, los alelos de un locus se diferencian entre ellos por el número total de bases que lo componen. El polimorfismo de longitud es muy común en las secuencias repetidas en tándem, en las que el número total de unidades de repetición definen a cada alelo.

Las regiones de ADN nuclear con mayor interés en Genética Forense son los minisatélites o VNTRs («Variable Number of Tandem Repeats») y los microsatélites o STRs («Short Tandem Repeats»). A cada uno de estos loci o segmentos de ADN polimórfico se le denomina marcador genético. La principal diferencia entre ambos tipos de marcadores reside en la longitud total del segmento de ADN que, a su vez, viene determinada por el número de nucleótidos de la unidad de repetición que lo componen (Farfán Espuny 2004).

La prueba del ADN consiste en el análisis de un número determinado de polimorfismos genéticos en una muestra biológica, el conjunto de los distintos alelos presentes proporciona un perfil genético de esa muestra, que se considera único para cada individuo siempre que se analicen un número suficientes de polimorfismos y que no se comparen perfiles pertenecientes a gemelos univitelinos. El perfil genético obtenido se compara con el de muestras de origen conocido y se estudia, según los casos, la posibilidad de que pertenezca o no a una persona determinada o se compara con muestras de familiares y se estudia la relación de parentesco. Los resultados que se obtienen son de una alta fiabilidad. Una de las grandes ventajas de la aplicación de los polimorfismos de ADN es la posibilidad de su estudio a través de cualquier tipo de muestra biológica y a partir de cantidades muy pequeñas.

La aplicación del análisis de los polimorfismos genéticos al estudio de los vestigios biológicos presentes en la escena del delito ha ampliado el alcance de la prueba biológica. La evidencia biológica es, en muchas ocasiones, la llave para la demostración de la participación de una persona en un hecho delictivo. El análisis se puede aplicar a cualquier tipo de vestigio biológico, sangre, pelos, semen, saliva, tejidos, etc. y sobre objetos que los contengan. Se analiza el vestigio biológico y el perfil genético obtenido es comparado con una muestra de la persona o personas implicadas en el hecho delictivo. Si el perfil genético no coincide se puede descartar la implicación de esa persona/s en el mismo. En el caso contrario, cuando los perfiles obtenidos en las evidencias de las muestras indubitadas coinciden, es imprescindible realizar un estudio matemático-estadístico de los resultados para calcular la probabilidad de que el vestigio provenga de ese individuo. El ADN es un medio de prueba de enorme valor en la resolución de muchos delitos, sobre todo aquellos donde por la violencia del hecho es muy probable y frecuente que queden restos o indicios biológicos en el cuerpo o ropa de la/s víctima/s o en la escena del delito, como delitos de lesiones, homicidios, agresiones sexuales, etc. (Jiménez Moreno 2013).

El ADN de copia única simple o no repetitivo constituye la mayor parte del genoma, aunque en una proporción variada dependiendo del tipo de organismo (100 % procariotas, 80 % eucariotas inferiores, 50 – 70 % en animales superiores), parte de este ADN \approx 5% lo constituyen las secuencias de genes, que codifican los ARN y proteínas celulares; por otra parte \approx 5 % es responsable del control de la expresión de esas secuencias, mientras que el resto mayoritario (\approx 60 %) es ADN no codificante, cuya función, si existe, apenas se conoce. Las secuencias de ADN que aparecen en copias múltiples, o ADN repetitivo, constituyen entre un 30 – 50 % del total del genoma humano. Las secuencias repetidas, llamadas unidades de repetición o simplemente repeticiones, tienen tamaños diversos y cada uno se encuentra de forma idéntica o casi idéntica muchas veces en el genoma. Una parte del ADN repetitivo tiene carácter codificante mientras

que para el resto de ADN repetitivo no se conoce una función clara, si bien alguno posiblemente contribuya a mantener la estructura de los cromosomas, mientras que se ha llegado a proponer que una parte sea ADN basura, un vestigio evolutivo sin función actual. Estas secuencias repetidas no codificantes (concretamente, las denominadas minisatélites y microsatélites), aún con función no totalmente conocida, son las que se emplean para la identificación y estudios familiares debido a su variabilidad entre individuos (Vasquez Marías, Garde Borao y Martínez Jarreta 2012) (ver Figura 17).

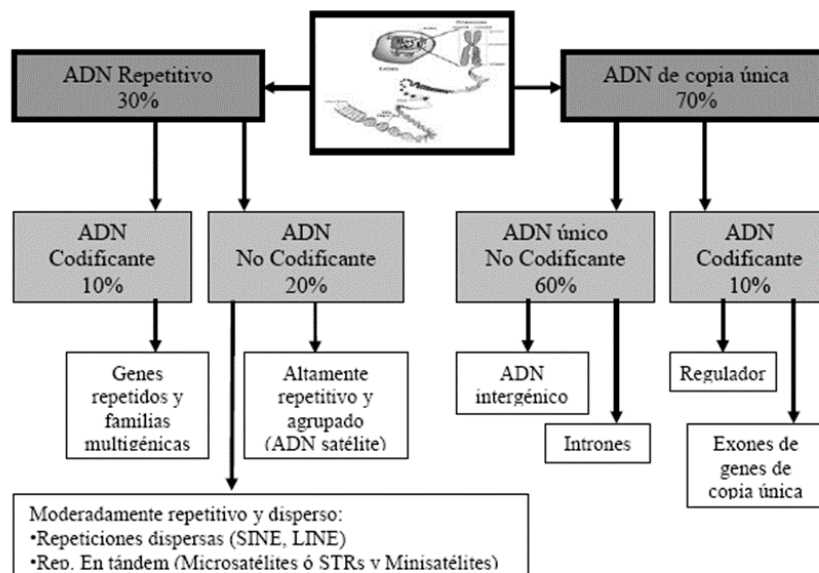


Figura 17. Esquema para la detección del ADN codificante (Vasquez Marías, Garde Borao y Martínez Jarreta 2012)

Existen dos tipos de ADN que se almacena en diferentes zonas de la célula: el nuclear y el mitocondrial. Se denomina ADN nuclear al que se encuentra en el núcleo de la célula; este ADN-n se hereda mitad de la madre y mitad del padre, con la excepción del ADN presente en el cromosoma Y masculino, que sólo se hereda por línea paterna. Por su parte, el ADN mitocondrial, ADN-mt, está presente en los orgánulos de la célula conocidos como mitocondrias y sólo se hereda por línea materna. A pesar de su origen, ambos tipos de ADN son muy similares y se emplean para los procesos de identificación.

En función del tipo de prueba, y en el marco de los análisis genéticos forenses, la utilización del ADN-mt como procedimiento previo al estudio de ADN-n presenta ventajas importantes. Debido al gran número de copias de ADN-mt (más de 1000) presente en cada célula, este tipo de análisis tiene un alto grado de sensibilidad.

El estudio de ADN-mt puede emplearse en los casos en que se presuponga que la cantidad de ADN-n sea muy pequeña o nula, por ejemplo, en pelos, huesos y dientes, donde la cantidad de ADN-n suele ser escasa, especialmente en muestras antiguas o degradadas. Por tanto, la obtención de la secuencia de ADN mitocondrial permite establecer una relación de parentesco. No obstante es necesario realizar un estudio de ADN nuclear para obtener una identificación plena. No es útil el estudio de ADN-mt cuando se sospeche la existencia de mezclas de fluidos orgánicos. Asimismo los perfiles de ADN-n no pueden ser comparados con las secuencias de ADN-mt.

Una característica que hay que tener en cuenta para el uso forense de los análisis del ADN-mt es que, además de los hermanos, todos los parientes por vía materna muestran la misma secuencia de ADN-mt, lo que significa que las personas de este grupo no pueden ser identificadas por separado.

2.4.2.1.2 Aspectos normativos de la tramitación de la prueba de ADN.

La aplicación de la prueba genética, por su relativa novedad, presenta ciertos problemas jurídicos que no están todavía claramente solventados. La prueba del ADN tiene cabida en la investigación de delitos como pericia médica-biológica y está sujeta a la regulación de ésta. En este sentido, en nuestro país la prueba pericial médica viene recogida en la Ley de Enjuiciamiento Criminal (LeCrim) (BOE 2015), que desarrolla a lo largo del capítulo VII del Título V del Libro II la regulación del informe pericial y del perito (arts. 456-485). En su articulado recoge, entre otros, aspectos relativos a la necesidad de la actuación del perito, las condiciones del mismo, su nombramiento, obligaciones y causas de recusación. Así, el art. 456 establece el objetivo de la pericia al expresar que *“El Juez acordará el informe pericial cuando para conocer o apreciar algún hecho o circunstancia importante en el usuario fuesen necesarios o convenientes conocimientos científicos o artísticos”*. Con relación al análisis del ADN su empleo procesal está regulado en, el art. 363 de la LeCrim, el cual recoge que: *“Siempre que concurran acreditadas razones que lo justifiquen, el Juez de Instrucción podrá acordar, en resolución motivada, la obtención de muestras biológicas del sospechoso que resulten indispensables para la determinación de su perfil de ADN. A tal fin, podrá decidir la práctica de aquellos actos de inspección, reconocimiento o intervención corporal que resulten adecuados a los principios de proporcionalidad y razonabilidad”*. Esta redacción es fruto de la reforma de la referida ley llevada a cabo en el año 2003, y mediante lo dispuesto en la Disposición Final Primera de la Ley Orgánica 15/2003 de 25 de noviembre de modificación del Código Penal (BOE 1995), a fin de proporcionar la cobertura jurídica de la que carecían hasta entonces a determinadas prácticas de investigación. La nueva redacción dada a los art. 326 y 363 de la LeCrim consiste, esencialmente, en regular la posibilidad de obtener el ADN a partir de muestras biológicas provenientes de pruebas halladas en el lugar del delito o extraídas de sospechosos, de manera que dichos perfiles de ADN puedan ser incorporados a una base de datos para su empleo en esa concreta investigación³¹.

Esta base de datos se crea mediante la Ley Orgánica 10/2007 (BOE 2007) reguladora de la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN, que establece legalmente la creación de un fichero dependiente del Ministerio del Interior a través de la Secretaría de Estado de Seguridad.

En concreto en el art. 3, establece que: *“...se inscribirán en la base de datos policial de identificadores obtenidos a partir del ADN los siguientes datos:*

- a) *Los datos identificativos extraídos a partir del ADN de muestras o fluidos que, en el marco de una investigación criminal, hubieran sido hallados u obtenidos a partir del análisis de las muestras biológicas del sospechoso, detenido o imputado, cuando se trate de delitos graves y, en todo caso, los que afecten a la vida, la libertad, la indemnidad o la libertad sexual, la integridad de las personas, el patrimonio siempre*

³¹ Preámbulo de la Ley Orgánica 10/2007 (BOE 2007) regula la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN.

que fuesen realizados con fuerza en las cosas, o violencia o intimidación en las personas, así como en los casos de la delincuencia organizada (...).

- b) Los patrones identificativos obtenidos en los procedimientos de identificación de restos cadavéricos o de averiguación de personas desaparecidas.”*

Del mismo modo determina este artículo que *“la inscripción en la base de datos policial de los identificadores obtenidos a partir del ADN a que se refiere este apartado, no precisará el consentimiento del afectado, el cual será informado por escrito de todos los derechos que le asisten respecto a la inclusión en dicha base, quedando constancia de ello en el procedimiento”*.

Sin embargo la extracción de la muestra de ADN, al contrario de lo que ocurre con otro tipo de muestras, como puede ser las huellas dactilares, está sometida a que sea ordenada por la Autoridad Judicial, como queda recogido en la disposición adicional tercera de esta misma ley: *“La toma de muestras que requieran inspecciones, reconocimientos o intervenciones corporales, sin consentimiento del afectado, requerirá en todo caso autorización judicial mediante auto motivado, de acuerdo con lo establecido en la Ley de Enjuiciamiento Criminal”*.

Como aclaración a lo anterior, el Tribunal Constitucional (Tribunal Constitucional de España 1996)³² interpreta que para que la intervención corporal sea conforme a derecho deben concluir los siguientes requisitos:

- Persecución de una finalidad constitucionalmente legítima.
- Que su práctica se encuentre prevista legalmente.
- Auto motivado para realizar la toma en caso de no existir consentimiento.
- Proporcionalidad entre el bien jurídico protegido y el beneficio buscado.

Se puede concluir que actualmente la doctrina mayoritaria contempla la extracción de ADN como una prueba que puede atentar contra el derecho a la intimidad de las personas y debe ser por tanto requerida expresamente mediante auto judicial. En todo caso, las partes de ADN a que se hace referencia en un análisis forense se concentran en las zonas no codificantes del genoma. Esto significa que no incluyen información acerca de las características físicas o psicológicas, las enfermedades o la propensión a las mismas, por lo que se extremen las medidas para proteger la intimidad del donante, en concordancia con el art. 4 de la Ley Orgánica 10/2007 que al regular específicamente qué tipo de datos pueden ser almacenados en las bases de datos de investigación recoge que *“Sólo podrán inscribirse en la base de datos policial regulada en esta Ley los identificadores obtenidos a partir del ADN, en el marco de una investigación criminal, que proporcionen, exclusivamente, información genética reveladora de la identidad de la persona y de su sexo.”*

2.4.2.1.3 Banco de datos de ADN.

El Grupo Español y Portugués, GEP-ISFG, es el responsable de determinar y desarrollar el banco de datos de perfiles de ADN para nuestro país. Como se ha mencionado en el epígrafe anterior, en España la Ley Orgánica 10/2007 determina qué tipo de perfiles se pueden almacenar, datos asociados, su uso y cesión, nivel de seguridad aplicable, así como lo relativo a la

³² Como ejemplo de esta doctrina y se cita en (Tribunal Constitucional de España 1996), de 16 de diciembre, BOE núm. 19, de 22 de enero de 1997, en la que a su vez cita otras sentencias en el mismo sentido.

cancelación, rectificación y acceso, todo ello de acuerdo con la Resolución del Consejo de la UE relativa al intercambio de resultados de análisis de ADN, de 9 de junio de 1997. Además de lo anterior existen distintas recomendaciones internacionales, europeas y nacionales que regulan la utilización del ADN con fines forenses y que al mismo tiempo persiguen la estandarización de métodos, de polimorfismos y de promover controles de calidad, entre los distintos grupos de trabajo. Entre ellas podemos citar:

- Recomendaciones de la Sociedad Internacional de Genética Forense (ISFG) para la aplicación de polimorfismos genéticos a las pericias médico-legales. En nuestro país son publicadas con carácter de recomendación, aunque en otros países de Europa tienen rango normativo como decretos o reglamentos (ISFG 2001).
- Recomendación nº R (92) 1, del Consejo de Europa sobre el uso del análisis del ácido desoxirribonucleico (ADN) dentro del marco del sistema judicial penal
- Resoluciones del Consejo relativas al intercambio de resultados de análisis de ADN, de 9 de junio de 1997, 25 de junio de 2001 y de 30 de noviembre de 2009 (Jiménez Moreno 2013).

Es en esta última resolución, la 2009/C296/01 de 30 de noviembre de 2009 donde se define a nivel de la UE lo que se entiende por marcador de ADN, entendiéndolo como *“el locus de una molécula de ADN caracterizado por contener información que difiere de un individuo a otro”* y establece el Conjunto de Normas Europeas (European Standard Set, ESS) (Dognaux, y otros 2012) con los siguientes 12 marcadores:

- D3S1358
- VWA
- D8S1179
- D21S11
- D18S51
- HUMTH01
- FGA
- D1S1656
- D2S441
- D10S1248
- D12S391
- D22S1045

A nivel nacional, el organismo más importante es la Comisión Nacional para el uso forense del ADN, regulada mediante el RD 1977/2008, de 28 de noviembre. Además existen las Guías elaboradas por Grupo de Habla Española y Portuguesa de la ISFG (GEP-ISFG). para el trabajo en los laboratorios de genética forense y la normas relacionadas con la muestra elaboradas por el instituto Nacional de Toxicología (ISFG 2001).

La Orden INT/3784/2004, de 11 de noviembre anteriormente citada, y por la que se adecuan los ficheros informáticos del Ministerio del Interior que contienen datos de carácter personal, crea dos ficheros bajo la gestión de la Secretaría de Estado de Seguridad y relacionados con el análisis del ADN: INT-SAID (con el fin de cooperar con la Administración de Justicia mediante la identificación genética de vestigios biológicos y la identificación de muestras de origen conocido) e INT-FÉNIX (con la finalidad de identificación genética de personas desaparecidas y cadáveres). Esta orden permite conectar las bases de datos de ADN de la Dirección General de la Policía y

de la Guardia Civil, las cuales disponían de sus propias bases HUMANITAS y FÉNIX para personas desaparecidas, y VERITAS y ADNIC, para registros de interés criminal. Posteriormente, como consecuencia de los buenos resultados en el cruce de bases de datos de ADN, se incorporan de forma paulatina al cruce de sus respectivas bases de datos los cuerpos policiales autonómicos: Mossos d'Esquadra el 20 de noviembre de 2007³³, Ertzaintza el 11 de diciembre de 2008³⁴ y por último la Policía Foral de Navarra el 4 de octubre de 2012, así como el Instituto Nacional de Toxicología y Medicina Legal el 27 de diciembre de 2010³⁵, lo que permitió aumentar considerablemente las posibilidades identificativas en los análisis genéticos (López Reyes 2016).

Con el desarrollo del Tratado de Prüm (Ziller 2007) se hace posible, en el contexto de la investigación y persecución de delitos, que los países participantes puedan cruzar entre ellos sus bases de datos de ADN sin necesidad de una solicitud de asistencia judicial recíproca³⁶. Gracias al uso internacional de bases de datos, es posible el intercambio y la comparación de perfiles genéticos. Para que todos los países involucrados en estos acuerdos tengan la seguridad de que los laboratorios forenses de los diferentes estados miembros realizan análisis fiables, son técnicamente competentes y por tanto los perfiles genéticos almacenados en la base de datos cumplen con los mismos requisitos de seguridad que sus laboratorios propios, se establece la Decisión del Consejo de la Unión Europea 2009/905/JAI que obliga a los laboratorios forenses de ADN a encontrarse acreditados de conformidad con lo establecido en la norma UNE/EN/ISO/IEC 17025 en donde se constituyen los requisitos específicos relativos a acreditar la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración³⁷.

Existe un amplísimo número de posibles marcadores descritos en la literatura científica, por lo que cabría la posibilidad de que cada investigador defina distintos marcadores de forma que no puedan compararse los perfiles extraídos. Para evitar esta situación, se han adoptado como norma internacional 13 STRs:

- SF1PO
- D3S1358
- D5S818
- D7S820
- D8S1179
- D13S317
- D16S539
- D18S51
- D21S11
- FGA
- THO1
- TPOX

³³ Bases SIP IDENTICRIM y SIP IDENTISOS.

³⁴ Bases IDENTIFICACION GENÉTICA y NECROIDENTIFICACION.

³⁵ Bases INTCF-ADNIC y IDNTCF-ADNID.

³⁶ Sin entrar en mayores detalles, el intercambio de información a nivel europeo se desarrolla en dos etapas, denominadas Step I y Step II. En la primera se realiza una búsqueda automática en las bases de datos recibiendo únicamente confirmación de si ese perfil está o no registrado, sin facilitar datos personales. En caso de coincidencia, y en base a los acuerdos entre países, se puede pasar a la segunda etapa en la que ya se facilitan datos concretos, no solo de la persona, sino también de otros posibles hechos delictivos en que pudiera estar implicada.

³⁷ En la actualidad, son 19 los países europeos que intercambian de manera rutinaria perfiles genéticos con España: Austria, Chipre, Alemania, Estonia, Francia, Lituania, Letonia, Luxemburgo, Holanda, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovenia, Eslovaquia, Suecia y la última incorporación República Checa, Malta, Hungría y Finlandia (Noviembre de 2016).

- vWA

Además de la amelogenina presente en los cromosomas X e Y, como núcleo básico para su estudio por todos los laboratorios forenses.

Estos marcadores fueron definidos por el FBI en 1997, momento en que constituyó un software, denominado CODIS³⁸, con el cual se recogía en una base de datos los perfiles genéticos identificados por estos marcadores. El empleo de estos marcadores se ha estandarizado de manera que actualmente se puede llevar a cabo el intercambio de información genética entre laboratorios de todo el mundo.

Entre las ventajas del sistema STR de CODIS se pueden destacar:

- El sistema CODIS ha sido adoptado de forma general por los analistas de ADN forense por lo que se permite la comparación a nivel mundial.
- Los alelos STR se pueden determinar con rapidez empleando ensayos comerciales (kits).
- Los alelos STR son discretos (es decir, de número reducido) y se comportan según los principios establecidos de genética de poblaciones.
- Los datos son digitales y, por tanto, adecuados para las bases de datos informatizadas.
- Laboratorios de todo el mundo están contribuyendo al análisis de frecuencia de alelos STR en distintas poblaciones humanas.
- Los perfiles STR se pueden determinar a partir de cantidades muy pequeñas de ADN (Universidad de Arizona, traducción realizada por la Universidad de Alcalá 2000).

Fuera del ámbito europeo, INTERPOL también soporta una base de datos informatizada de perfiles de ADN a la que los estados miembros pueden enviar los perfiles correspondientes a delinquentes, personas desaparecidas, cadáveres no identificados o los obtenidos de las muestras halladas en el lugar del delito. INTERPOL simplemente actúa como conducto de intercambio, ya que son los países los propietarios de los perfiles genéticos y deciden sobre el intercambio de datos de acuerdo a sus respectivos ordenamientos jurídicos (González Medina, El análisis criminalístico del ADN: de la detección a la detención. 2012).

2.4.2.2 Huellas dactilares.

Desde que en 1880 Henry Faulds publicara un artículo en la revista Nature (Faulds 1880), en el que proponía el uso de las huellas dactilares como método de identificación criminal, hasta nuestros días, la dactiloscopia ha tenido una gran evolución. En aquellos tiempos existía un verdadero problema para la identificación de las personas y especialmente de los delinquentes reincidentes, y los distintos cuerpos policiales no contaban con ningún método realmente científico para esta labor. En un principio las mediciones antropométricas de Bertillon fueron el sistema más comúnmente utilizado, sin embargo, su aplicación no era sencilla y requería de verdaderos expertos bien entrenados para conseguir homogeneidad entre las medidas tomadas y posibilitar así una posterior verificación de la identidad.

³⁸ Combined DNA Index System, sistema combinado de indexación de ADN

La aparición de la identificación por huellas dactilares tenía como ventaja indudable la sencillez de la toma de muestras; sin embargo, además de las reticencias a su empleo como medio veraz de identificación, presentaba un grave problema de clasificación y por lo tanto de poder encontrar las huellas coincidentes. Este problema fue resuelto poco a poco, primero alternándolo con la clasificación antropométrica y posteriormente encontrando sistemas propios de clasificación, hasta que la dactiloscopia se convirtió en el método más fiable, y por lo tanto más utilizado, para la identificación criminal.

El primer caso documentado de identificación de un delincuente por este sistema se encuentra en Argentina, concretamente en la localidad de Necochea, en 1892, cuando pudo esclarecerse el asesinato de un niño de seis años y una niña de cuatro a manos de su propia madre, debido a una huella dactilar impregnada en sangre dejada por la autora en el marco de una puerta.

Es conveniente refrescar algunos términos que van a ser utilizados a partir de ahora en el documento y en la discusión de los resultados. El primero de ellos es el de Lofoscopia, término con el que se denomina a la ciencia que estudia las crestas papilares con fines identificativos. Estas crestas papilares, relieves epidérmicos que se encuentran en las plantas de las manos y los pies, se clasifican en función de su localización como:

- Dactiloscopia, si las crestas papilares se encuentran en las yemas de los dedos.
- Quiroscopia si lo están en las palmas de las manos
- Pelmatoscopia en las plantas de los pies.

Las crestas papilares presentan tres características que las hacen relevantes para su empleo en la identificación de personas: perennidad, inmutabilidad y diversidad.

La perennidad determina que las crestas papilares se mantienen durante toda la vida de la persona, apareciendo en la onceava semana de gestación y desapareciendo tras la muerte en el proceso de putrefacción (Herrero 2010). Por su parte la inmutabilidad determina que las huellas permanecen invariables a lo largo de toda la vida, con independencia de la edad del individuo, hasta el punto que tras su borrado intencionado, vuelven a aparecer idénticas a las originales, sin dar lugar a otro dibujo. Esta propiedad fue estudiada y probada por Faulds (Faulds 1880), quien, junto con sus alumnos se rasparon las crestas digitales con cuchillas, piedra pómez, papel de lija e incluso las impregnaron con varios ácidos, pero todas sin excepción volvieron a salir con los mismos dibujos. Por último, la tercera característica es la diversidad, ya que no existen dos personas con las mismas huellas, e incluso en una misma persona éstas son diferentes entre los distintos dedos, siguiendo la regla de Quetelet: *“Todo lo que hace la naturaleza muestra variaciones de formas ilimitadas e infinitas. La naturaleza nunca reproduce exactamente sus obras”* (Antón y Barbera 2009) .

Actualmente existen muchos otros medios de identificación, sin embargo eso no significa que las huellas hayan perdido su valor, principalmente por la rapidez de su estudio, el bajo coste económico que conlleva y el gran volumen de datos existentes contra los que efectuar un cotejo. Por este motivo la dactiloscopia sigue y seguirá siendo un método de identificación eficaz durante muchos años.

El procedimiento de identificación dactilar en la Guardia Civil está basado en cuatro etapas:

1. Descarte. En primer lugar las huellas obtenidas en el lugar del delito se comparan con aquellas de las personas que han podido estar en la escena, como por ejemplo, testigos, habitantes, primeros intervinientes, etc. De esta forma solamente se seleccionarán aquellas cuya presencia en el lugar del delito no están plenamente justificadas.
2. Cotejo con sospechosos. Si ya se dispone de uno o varios sospechosos, se procede al cotejo de sus huellas, procedimiento que puede ahorrar mucho tiempo en la investigación.
3. Consulta en el Sistema Automático de Identificación Dactilar, SAID. Este sistema informático de cotejo de huellas está disponible en España desde 1985, año en que fue adquirido por el Cuerpo Nacional de Policía, y es de empleo conjunto por el CNP y la Guardia Civil desde 1989, a raíz de la publicación de la Instrucción 2/89 de la Secretaría de Estado de Seguridad sobre la explotación conjunta del Sistema Automático de Identificación Dactilar por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado. El SAID vigente en la actualidad se denomina AFIS y entró en funcionamiento en enero de 2009³⁹.
4. Cotejo de candidatos. El SAID no lleva a cabo una identificación, sino que aporta 15 candidatos ordenados en base al grado de similitud. Es el especialista quien debe determinar si existe correspondencia con alguno de los candidatos facilitados por el sistema y reflejarlo así en su informe forense. Únicamente cuando se buscan reseñas lofoscópicas de detenidos, el sistema lleva a cabo la identificación total, debido a la calidad de la muestra a comparar, algo que no ocurre normalmente con las impresiones recogidas en la escena del delito, ya que las mismas suelen ser débiles o parciales.

2.4.2.2.1 Proceso de Identificación lofoscópico.

El proceso de identificación lofoscópico se desarrolla siguiendo los pasos definidos por el Grupo de Trabajo Europeo de Interpol de Identificación de Huellas Dactilares. Estos pasos o fases son los siguientes:

- Análisis: esta fase se centra en la huella recogida (indicio forense) sin tener en cuenta la impresión con la que se va a comparar.
- Comparación: partiendo de la información obtenida en la fase anterior, se procede a su comparación con una muestra indubitada, localizando puntos característicos coincidentes y detectando discrepancias.
- Evaluación: Con toda la información disponible se establece la posibilidad de que ambas huellas tengan un origen común.
- Conclusión: se pueden adoptar tres conclusiones: identificación, exclusión (no identificación) o no concluyente.
- Verificación: la identificación siempre se lleva a cabo por dos especialistas que realizan el trabajo de forma independiente y en paralelo, completando todas las fases. En esta

³⁹ Como ampliación, el SAID cuenta con varias secciones dependiendo del tipo de huellas archivadas en ellas: archivo de huellas lofoscópicas, anónimas y necroidentificación.

fase se comprueban los resultados de ambos cotejos para obtener el máximo de garantías sobre sus resultados.

Centrándose en el estudio de una huella dactilar, existen en el mundo dos sistemas de identificación: el integrador y el numérico. El primero está vigente en Estados Unidos y varios países europeos, establecido tras la conferencia anual de la Asociación Internacional de Identificación en Jackson, Wyoming, el 1 de agosto de 1973, en la que se adoptó una resolución en la cual se afirmó que no existe ninguna base científica para exigir un número mínimo de puntos característicos entre la huella y la impresión para establecer una identificación positiva. Se deja la conclusión del examen a la discreción de cada experto, basado en un análisis cuantitativo y cualitativo total (Antón y Barbera 2009). Este método consiste en el estudio en tres niveles de la huella.

En el primer nivel se lleva a cabo un estudio de la morfología general de la huella que sirve fundamentalmente para efectuar rápidamente descartes. Las crestas papilares, en función de su situación, forma y dirección se encuentran distribuidas en tres sistemas: basilar, marginal y nuclear. El delta es la figura, de forma triangular, formada por la aproximación o fusión de la última cresta, denominada limitante, de cada uno de los tres sistemas (Figura 18):

- El sistema basilar lo conforman las crestas que forman la base del dibujo dactilar, justo por encima de la falange y tienen una dirección transversal o ligeramente oblicua.
- El sistema marginal se localiza en el margen o contorno del dactilograma. En él las crestas parten de los lados de la huella, se elevan y vuelven a descender por el lado opuesto.
- Por último, el sistema central lo conforman, como no podía ser de otra manera, las crestas que ocupan el centro, el espacio entre el sistema basilar y el marginal.

El sistema de clasificación establece cuatro tipos básicos de dactilogramas dependiendo del lugar y posición que ocupa el delta: adeltos, dextrodeltos, sinistrodeltos y bideltos (ver Figura 19).

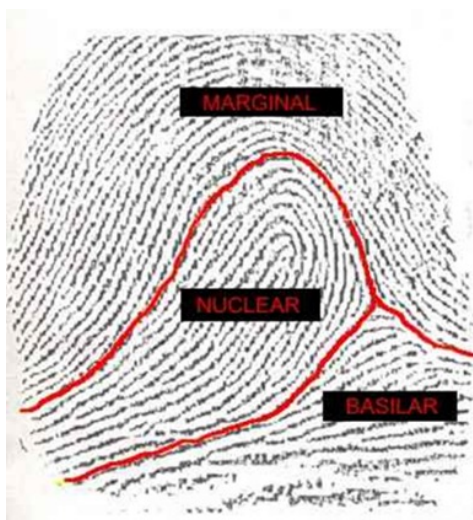


Figura 18. Sistemas de las crestas papilares.



Figura 19. Tipos básicos de dactilograma.

A continuación se analiza el centro nuclear, que es la cresta o crestas más interna del núcleo, en torno a la cual se desarrollan las demás que conforman el sistema nuclear. Existe un

importante número de clasificaciones, según el número de crestas internas del núcleo, si está cerradas, si tocan o no el extremo, etc. (ver Figura 20).

Con posterioridad el estudio se centra en el tipo de delta, si es cerrado (tipo trípode) o abierto (triángulo) y dentro de estos tipos básicos hasta 24 subclasificaciones más. Por último, para los dactilogramas monodeltos, se emplea la distancia delta-núcleo, denominada también línea de Galton y que se define cómo la línea que en el dactilograma monodelto une el centro del delta con el centro del núcleo. El número de crestas que cruza esta línea, descontando los dos puntos extremos, permite hacer una subclasificación en este tipo de impresiones digitales. También se denomina línea de cuenta (Universidad de Navarra 2018).

El paso siguiente es profundizar en el estudio con un segundo nivel, en el que se tienen en cuenta las cicatrices (destrucción de líneas por lesiones), excreciones (crestas no desarrolladas completamente), líneas albopapilares (líneas en blanco que interrumpen la trayectoria normal de una cresta), pliegues (producidos por la articulación de la falanges) y puntos característicos (singularidades o anomalías que sufren las crestas).

Los puntos característicos son una particularidad que se produce en el recorrido de las crestas papilares. En España se tienen en cuenta 16 puntos característicos: abrupta, bifurcación, convergencia, desviación, empalme, fragmento, interrupción, ojal, punto, secante, transversal, círculo, delta, ensamble, “M” o “T” y vuelta (ver Figura 21).

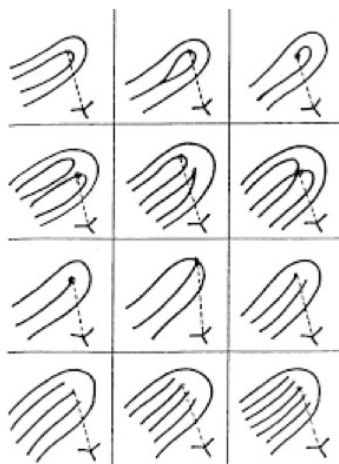


Figura 20. Tipos básicos de crestas en el núcleo



Figura 21. Puntos característicos de una huella digital

Por último existe un tercer nivel en el que, partiendo de los resultados del segundo nivel, se estudian las formas de las crestas (Crestascopia) y el espesor, delgadez y emplazamiento de los poros de las crestas (Poroscopia).

Finalmente el técnico evalúa la información en cada caso, así como la claridad del dibujo digital, cantidad y calidad de las coincidencias, para formarse una opinión y eliminar a cuantos individuos no concuerden con dichas características. Es una opción subjetiva basada en la experiencia, conocimientos y capacidad de los expertos.

En contraposición al método anterior, el método de identificación lofoscópico empleado en España por las fuerzas y cuerpos de seguridad es el numérico. Esto es, después de seguir los pasos descritos anteriormente hasta el segundo nivel, se realiza una calificación objetiva basada

en la puntuación obtenida sobre la base del número de puntos característicos comunes que contiene con la huella de comparación. Cada punto característico, en función de rareza o frecuencia de aparición, tiene asignado un valor entre uno y tres. Para la valoración de los puntos característicos se parte de la metodología propuesta por Santamaría (Santamaria Beltrán 1942), que establece una tabla de valores de dichos puntos según su frecuencia de aparición en los dactilogramas, lo que comúnmente se conoce como “Tabla Santamaría”. Se considera que una huella está identificada cuando suma 12 puntos de coincidencia⁴⁰.

Basarse exclusivamente en las opiniones y apreciaciones de los peritos supone un riesgo y una dificultad para aceptar la prueba en un juicio. Determinar un número de puntos característicos coincidentes que permita una identificación posibilita la adopción de normas, directrices y otras medidas prácticas sobre el funcionamiento correcto o incorrecto. Las normas permiten determinar si las huellas latentes no tienen ningún valor y pueden descartarse o por el contrario pueden ser presentadas en un juicio como prueba fehaciente (Antón y Barbera 2009) (Farfán Espuny 2004). Es por este motivo que en España se sigue el método de identificación numérico, perfectamente reglado y tasado, dejando poco espacio a la subjetividad.

2.5 Influencia de la radiación en las evidencias forenses.

En este apartado se realiza una breve descripción del estado del arte en relación con la resistencia de las evidencias forenses, ADN y huellas dactilares, a la presencia de campos de radiación ionizante. Monson y colaboradores (Monson, y otros 2018) en su revisión proporcionan una extensa evaluación del estado del arte en relación con la influencia de los campos de radiación ionizante en materiales de interés para la ciencia forense. En la Figura 22 se muestra la Tabla I de la recopilación realizada por Monson y col. (Monson, y otros 2018) en estudios de muestras con ADN y de huellas que luego se detallarán en cada uno de los apartados.

⁴⁰ Son puntos de baja frecuencia, y por tanto con valor “2” las abruptas, convergencias y bifurcaciones, teniendo los restantes valor “1”. De esta manera se admite la identificación con las siguientes combinaciones: Concurrencia de OCHO puntos característicos mínimo, si cuatro de ellos son de baja frecuencia de aparición. Coincidencia de NUEVE puntos característicos, si tres de ellos son de baja frecuencia de aparición. Concordancia de DIEZ puntos característicos, si dos de ellos son de baja frecuencia de aparición. Afinidad de ONCE puntos característicos, si uno de ellos es de baja frecuencia de aparición. Todas estas combinaciones dan un valor sumatorio de 12 puntos.

Reported effects of ionizing radiation on materials of evidentiary interest.

Material	Dose, kGy	Radiation	Effect	Reference
ISO policy	25	Unspecified	Sterilization	ISO, 2013
US Mail policy	56	Beta	Sterilization	EPA, 2013
DNA	0.2	Gamma	Onset, gradual loss of longer amplicons	Niemcunowicz, 2007
DNA	1	Gamma	Onset of damage	Abbondante, 2009
DNA (aq.)	2	Gamma	Complete degradation	Champlot et al., 2010
DNA (QC of PCR)	1.5	Gamma	Complete degradation (no contamination)	Deragon et al., 1990
DNA	5	Gamma	95% decrease in recovery	Hoile et al., 2010
DNA	10	Gamma	Onset of progressive allele dropout	Goodwin, 2013
DNA	50	Beta	70% full profile, 3% loss of all loci	Shaw et al., 2008
DNA (mitochondrial)	52	Beta	Complete profile, some degradation	Withrow et al., 2003
DNA	56	Beta	Complete STR profile, degraded SNPs	Castle et al., 2003
DNA (QC of PCR)	56	Gamma	~60% degradation	Shaw et al., 2008
DNA	66	Alpha	10–60% degradation across 10 loci	Abbondante, 2009
DNA	90	Gamma	Complete degradation, all loci	Kline et al., 2012
DNA	100	Gamma	Partial degradation, some loci	Abbondante, 2009
DNA	500	Gamma	Complete degradation, all loci	Abbondante, 2009
DNA	900	Gamma	Partial degradation, some loci	Monson et al., 2017
Fats (unsaturated)	2	Gamma	98% destruction of fatty acid composition	Hammer et al., 1979
Fats (saturated)	10	Gamma	No adverse effect	Hammer et al., 1979
Protein (aq. insulin)	40	Gamma	Amino acids destroyed or affected	Drake et al., 1957
Fibers (synthetic)	10	Gamma	Fading, discoloration, microscopic changes	Colella et al., 2011
Fibers (synthetic)	100	Gamma	Moderate to severe damage	Beynel et al., 1982
Fibers (cotton)	10	Gamma	Moderate to severe damage	Beynel et al., 1982
Fibers (cotton)	15	Gamma	Depolymerization, oxidation	Takácsa et al., 1999
Fibers (natural)	5	Gamma	Fading, discoloration, microscopic changes	Colella et al., 2011
Fibers (natural)	15	Gamma	Onset of decreased mechanical properties	Machnowski et al., 2013
Fibers (cotton)	50	Gamma	Fibril shortening, broken ends	Porter et al., 1960
Fibers (cotton)	50	Beta	Fibril shortening, broken ends	Porter et al., 1960
Fibers (cotton)	90	Gamma	Onset of spectral changes	Monson et al., 2017
Fibers (cotton)	900	Gamma	Fiber breakage	Monson et al., 2017
Fibers and hair	1000	Alpha	No adverse effect	Evans et al., 2012
Hair	0.5	Beta	Increased cortical fusi and disruption	Monson et al., 2017
Hair	0.5	Gamma	Increased cortical fusi and disruption	Monson et al., 2017
Paper	2	Unspecified	Onset of damage	Smithsonian MCI, 2001
Paper	10	Gamma	Onset of damage	Magaudda, 2004
Paper	10	Gamma	Reduced strength, darkening	Kubat et al., 1968
Paper	56	Beta	Reduced strength, darkening	Bouchard et al., 2006
Paper	90	Gamma	Darkening	Monson et al., 2017
Fingerprints	0.0005	Beta	Degradation	Monson et al., 2017
Fingerprints	0.002	Neutron	Degradation	Monson et al., 2017
Fingerprints	0.01	Gamma	Enhanced cyanoacrylate development	Ristova et al., 2016
Fingerprints	0.12	Alpha	Degradation	Monson et al., 2017
Fingerprints	0.5	Gamma	Degradation	Monson et al., 2017
Fingerprints	40	Gamma	No adverse effect	Hoile et al., 2010
Fingerprints	56 ^a	Beta	Degradation	Ramotowski et al., 2005
Fingerprints	100	Gamma	Plastic, paper substrates: degradation	Collela et al., 2009
Fingerprints	1000	Gamma	Glass, Al substrates: unaffected	Collela et al., 2009
Fingerprints	250	Alpha	Detrimental (before or after deposition)	Evans et al., 2012
CMOS memory	0.25	Gamma	Onset of data loss	Hoile et al., 2011
EEPROM memory	0.88	Gamma	Onset of data loss	Fetahović et al., 2013
CMOS, hard drives	1.5	Gamma	Unrecoverable	Hoile et al., 2011

^a Dose was that used for sterilization of U.S. Mail; value inferred from [34].

Figura 22. Efectos de la radiación en materiales con interés probatorio (Tabla I de Monson y colaboradores (Monson, y otros 2018))

2.5.1 Daños en el ADN inducidos por radiación.

Al igual que cualquier otro tipo de material (Holmes-Siedle y Adams 2002), es un hecho documentado y publicado que la estructura del ADN (Figura 23) se puede dañar por la presencia de campos de radiación ionizante, los cuales podrán interactuar con la estructura del ADN tanto de manera directa como indirectamente cuando alcancen un determinado valor de dosis absorbida⁴¹. Goodwin (Goodwin 2013) presenta un esquema de interacción de la radiación con la estructura del ADN (ver Figura 1.6, Figura 24), donde define como daño directo al ADN el asociado a la ionización y/o excitación de los componentes del ADN en el sitio de interacción, como consecuencia de la dosis absorbida (Abbondante 2009). El daño en dicha estructura está localizado en los puntos de ganancia y pérdida de electrones, que pueden formar radicales (aniónicos y catiónicos, respectivamente), dentro del ADN (Cullis, Symons y R 1986).

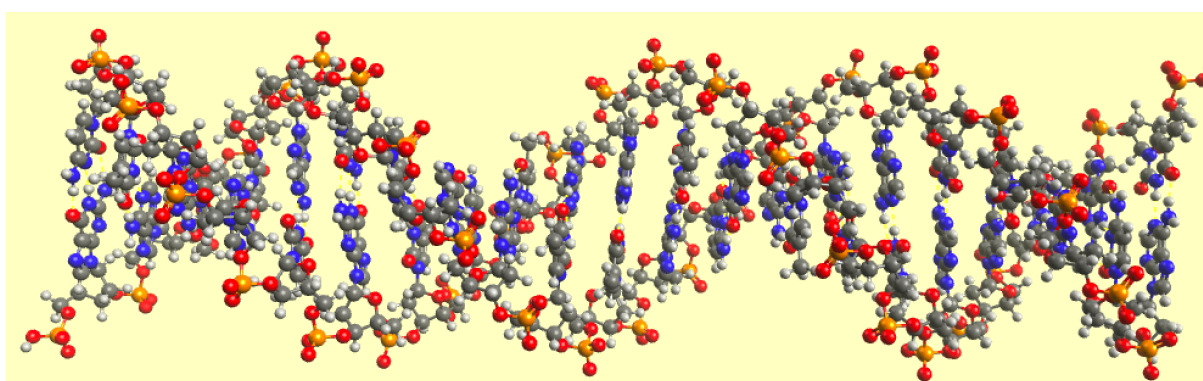


Figura 23. Estructura del ADN

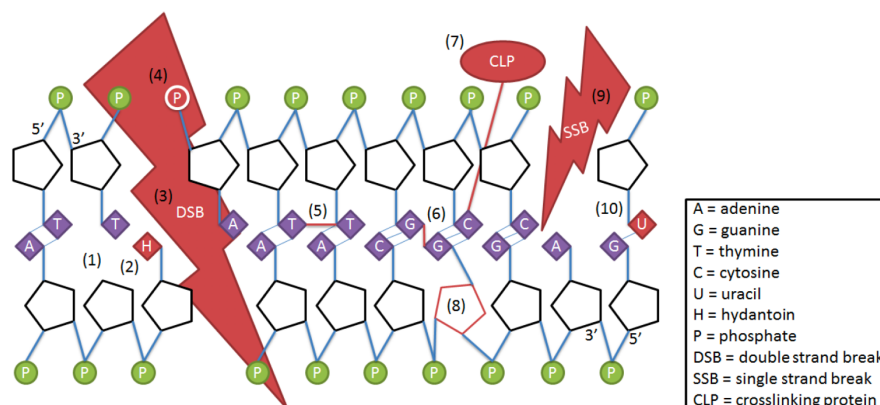


Figura 24. Esquema de los mecanismos de daño inducidos por la existencia de radiación ionizante en la estructura del ADN. (1) Sitio básico y ruptura del enlace de H; (2) oxidación de bases; (3) rotura de doble cadena (DSB) con extremos superpuestos; (4) 3'fosfato (sustancia bloqueadora); (5) entrecruzamiento entre cadenas; (6) entrecruzamiento entre cadenas; (7) entrecruzamiento de proteínas; (8) alteración de residuos de azúcar; (9) rotura de una sola cadena (SSB); (10) desaminación de bases (Goodwin 2013).

Cada defecto inducido en la estructura puede ser en una única cadena (Single Strand Break, SSB) o afectar a la doble cadena (Double Strand Break – DSB). En el caso de los SSB se pierden uno o más nucleótidos o se rompe un enlace fosfodiéster a través de una sola cadena. Este tipo de defectos en la estructura se producen por la ionización de bases fosfodiésteres o azúcares (desoxirribosa). La ionización del enlace fosfodiéster da lugar a la producción de aniones fosfato, interrumpiendo el enlace entre cadenas dentro del ADN. La producción de radicales catiónicos

⁴¹ Aunque no se van a describir porque no son objeto de estudio en esta tesis, es necesario mencionar que también existen mecanismos de reparación del ADN.

en las bases provocan la aceptación de iones H^+ procedentes de la descomposición de los azúcares (como lo hacen otros radicales). El radical de azúcar producido puede generar un defecto en la cadena al producirse la subsiguiente ruptura de uno o ambos enlaces fosfodiéster, formando un nuevo radical de azúcar catiónico (Pogozelski y Tullius 1998) (Schulte-Frohlinde 1986) (Goodwin 2013).

Otro de los defectos que puede inducir la radiación en la estructura del ADN es la ruptura de doble cadena (Double Strand Break – DSB). Según menciona la bibliografía (Goodwin 2013) estos defectos se pueden producir como consecuencia de un proceso doble consecutivo de SSB, entonces el ADN se fragmenta de manera desigual a través de ambas cadenas formando extremos superpuestos que con frecuencia contienen restos bloqueadores 3', como 3'fosfato o 3'fosfoglicolato, que impiden su posterior replicación. También se pueden generar defectos en las cadenas en puntos de coordinación abásicos, es decir, apurínicos / apirimidínicos o AP, como consecuencia de la rotura de enlaces de H y enlaces compartidos. Los puntos de coordinación AP se forman como consecuencia de la desprotonación de los radicales catiónicos de azúcares, produciendo también radicales de base aniónica. Estos radicales básicos se liberan del azúcar a través de la ruptura del enlace glicosídico, generando puntos de coordinación AP. Los radicales de dichos puntos, altamente reactivos, si no se reparan en condiciones alcalinas pueden dar lugar a la ruptura de la cadena (Goodwin 2013) (Lhomme, Constant y Demeunynck 1999) (Razskazovskiy, Debije y Bernhard 2000). Asociado con este mecanismo, se puede producir la ruptura de los enlaces de hidrógeno entre pares de bases. Como es lógico el resto de átomos que componen la estructura del ADN también están sometidos a un proceso de ionización y de excitación como consecuencia de la energía absorbida, lo que puede inducir a la formación de nuevos enlaces covalentes e incluso la formación de enlaces cruzados entre cadenas, ADN y proteínas (DPC) (Goodwin 2013) (Barker, y otros 2005) (Dextraze, y otros 2010).

Otro de los factores que habrá que tener en cuenta es el efecto indirecto de la radiólisis del agua circundante, más concretamente la interacción de las especies formadas, por ejemplo los iones hidroxilo entre otros (Quiñones, Diaz, y otros 2003), con el ADN, ya que su interacción puede producir la rotura de cadenas, alteraciones, oxidación de bases, eliminación de bases o nuevos enlaces en la estructura (Alaeddini, Walsh and Abbas 2010) (Goodwin 2013) (Razskazovskiy, Debije y Bernhard 2000) (Balasubramanian, Pogozelski y Tullius 1998) (Pogozelski y Tullius 1998) (Schulte-Frohlinde 1986). Valga indicar que existen estudios realizados in vitro que demuestran que el efecto de la radiación ionizante es más agresivo cuando el ADN está en disolución en concentraciones bajas, como consecuencia del incremento de la razón de especies radiolíticas generadas frente a la cantidad de ADN (Goodwin 2013) (Kong, y otros 2010).

Luego la existencia de un campo de radiación γ que produzca la irradiación de muestras forenses de ADN inducirá los siguientes mecanismos de interacción con la estructura de la molécula (Goodwin 2013):

- Defecto o daño producido por la interacción directa con la estructura (debido al aporte energético) lo que induce procesos de ionización y excitación de los átomos (Cullis, Symons y R 1986).
- Defecto o daño producido de manera indirecta generados por la interacción de productos radiolíticos, procedentes de la radiólisis del medio circundante, que reaccionan con la estructura del ADN ocasionando distintas modificaciones (Goodwin 2013) (Alaeddini, Walsh and Abbas 2010).

Los resultados obtenidos por Monson (Monson, y otros 2018) muestran que con independencia del tipo de radiación ionizante (α , β , γ o neutrones) es posible obtener perfiles completos de ADN nuclear y mitocondrial hasta una dosis gamma de 90 kGy, mientras que para valores de dosis absorbida de 900 kGy sólo se obtienen perfiles parciales. Además en su trabajo indica que cuando la dosis absorbida alcanza los 9000 kGy gamma el ADN se destruye.

A partir de la revisión del estado del arte se deduce que el mecanismo de interacción directa (proceso importante a tener en cuenta) siempre estará presente, por lo que un incremento en la proporción de contenido en agua de las evidencias forenses será un factor que aumentará el efecto de la radiación ionizante, en el caso de este trabajo de investigación, la radiación γ . En el caso de un escenario real donde las muestras pueden haber estado expuestas a la intemperie hasta el momento de su recogida, la existencia de ambientes con humedades saturadas o la presencia de lluvia incrementarían el efecto de la radiación en la destrucción de la estructura de ADN. Teniendo en cuenta este factor, tanto las evidencias de ADN como las huellas dactilares se manipularon e irradiaron en ambientes secos.

2.5.2 Daños en las huellas digitales.

En semejanza con el caso anterior, las huellas digitales pueden sufrir un efecto directo o indirecto de la radiación, en tanto que la energía transmitida produzca modificaciones en las propias huellas digitales latentes o en las propiedades quimicofísicas del sustrato soporte, dando lugar a modificaciones. Como se comentó en el apartado anterior las modificaciones o los defectos producidos por la radiación se centran en la estructura química del compuesto, pero en el caso de las huellas digitales se considera una escala superior a la de estructura molecular, por lo que es de esperar que el efecto en la propia huella sea menor.

El efecto de la radiación sobre los materiales está estudiado ampliamente desde finales del siglo XIX, por lo que, tal y como indican Holmes y colaboradores (Holmes-Siedle y Adams 2002), la descomposición, fragilización o bien la interacción de los productos empleados para el revelado con las huellas podrían impedir su uso para la identificación. En relación con este estudio es necesario volver a mencionar la revisión del estado del arte realizada por Monson y colaboradores (Figura 22 en (Monson, y otros 2018)) en la que analiza desde la influencia de la radiación en los constituyentes de las huellas latentes (es decir, péptidos, aminoácidos, grasas y proteínas) hasta en los materiales soporte, de los que a continuación se presentarán los resultados en más detalle.

En la bibliografía existen trabajos que evalúan la interacción de distintos tipos de campos de radiación con las huellas. Por ejemplo Holie y colaboradores (Holie 2010) en su trabajo de influencia de la radiación en muestras biológicas realizan un estudio hasta 40 kGy, donde, en colaboración con la Policía Australiana determinan que no existe influencia en las muestras irradiadas, bien sea en soporte poroso o no poroso. Sin embargo, otros estudios de muestras irradiadas con haz de electrones en sustratos porosos y no porosos demuestran que cuando se alcanzan niveles de radiación de hasta 30 kGy, la recuperación de las muestras latentes puede verse comprometida (Ramotowski y Regen 2005) (Ramotowski, S y Regen 2007). Colella y colaboradores (Colella, y otros 2009) en su estudio realizado hasta 100 kGy con muestras depositadas sobre distintos materiales porosos y no porosos, concluyen que en función de las circunstancias en que se tomaron las muestras y el ambiente en el que se encontraban, pudieron detectarse daños en los compuestos orgánicos de la marca y de los sustratos en los que se

estaban depositadas, si bien su revelado se realizó con éxito. En el caso de muestras con dosis absorbidas > 100 kGy observaron una mayor degradación en la calidad de la huella revelada, constatando la degradación del sustrato y por ende la dificultad en su manipulación y revelado. Este autor hace un énfasis especial en las condiciones ambientales y cómo la presencia de humedad podría afectar a la calidad final del revelado.

Como se ha comentado con anterioridad, los resultados obtenidos Monson (Monson, y otros 2018) indican que la presencia de campos de radiación ionizante (α , β , γ o neutrones) influyen negativamente en la calidad de las huellas dactilares latentes, teniendo en todos los casos una influencia destructiva para la mayoría de las muestras de huellas dactilares, pareciendo más débiles, manchadas y difuminadas, aunque muchas muestras conservaron el detalle suficiente como para tener un valor potencial para la comparación.

En base a los datos publicados y para poder determinar la existencia o no de unos umbrales que marquen la validez de las evidencias desde el punto de vista judicial es por lo que se planteó este trabajo de investigación con la metodología descrita en el apartado siguiente.

3. Procedimiento experimental.

La metodología de ensayo, materiales y técnicas de análisis empleados son los utilizados por la Guardia Civil en su trabajo habitual, no considerándose la utilización de otros procedimientos distintos toda vez que esta memoria tiene como fin la aplicación e implementación de los resultados obtenidos en los procedimientos empleados por las fuerzas de seguridad en España.

3.1 Toma de evidencias forenses.

Sólo este apartado podría convertirse en una o varias tesis doctorales, describiendo la mejor forma de recoger cada tipo de muestra, cómo debe ser preparada y transportada para que mantenga su utilidad, tanto para su análisis como para su posterior presentación ante un tribunal. También podría escribirse abundantemente sobre cómo debe ser documentada la recogida de muestras, desde las fotografías necesarias hasta la confección del documento de cadena de custodia. Sin embargo, por motivos obvios simplemente se efectuarán unas consideraciones generales antes de entrar en el detalle de la recogida concreta de las muestras que serán objeto de radiación y estudio.

La recogida de evidencias es un aspecto clave en la inspección ocular, ya que una incorrecta recogida y/o traslado puede tanto invalidar su valor procesal como hacer imposible su posterior estudio. Por este motivo todos los manuales de policía judicial recomiendan que sea realizada por dos especialistas, de forma que sea más difícil cometer errores inadvertidos y además permita contrastar opiniones sobre las actuaciones a llevar a cabo.

Como primera medida se debe considerar la protección del investigador para evitar tanto las lesiones propias (contagio, cortes..) como la contaminación de la escena, y así preservar el valor de los indicios. Tampoco debe olvidarse que en un mismo indicio pueden encontrarse muestras que deben estudiarse por separado. Un ejemplo podría ser un vaso donde coinciden huellas dactilares, ADN y además habría que analizar el líquido que pudiera haber en su interior (González Andrade y Martínez Jarreta 2001).

Como ya se explicó en capítulos anteriores, la existencia de evidencias se basa en el principio de transferencia de Locard. Esta transferencia puede verse afectada, dependiendo del tipo de evidencia, por los denominados factores de depósito. Existen tres tipos de factores de depósito: pre-transferencia, de transferencia y post-transferencia. En los casos objeto de estudio, huellas dactilares y ADN, las primeras son mucho más sensibles a estos factores. En concreto los factores de depósito pre-transferencia que pueden afectar a las huellas son el propio donante, ya que hay personas que segregan más fluidos y por tanto dejan huellas latentes más marcadas frente a otros que dejan huellas muy ligeras; también influye la edad, género, ..., pero varía,

incluso en un mismo donante, su estado de ánimo, el momento del día, si es la primera huella impresa o anteriormente se han dejado varias...

También existen los factores de transferencia, que hacen que varíen las huellas en función del soporte en el que se encuentren, siendo diferentes en base a la porosidad del sustrato, su curvatura, temperatura, etc. Por último mencionar los factores post-transferencia, que hacen referencia principalmente a si las huellas se encuentran sometidas a factores externos, como por ejemplo la climatología en un espacio abierto o por el contrario se preservan en uno cerrado, si han sido sometidas al calor, frío, agua, fuego, etc., y también el tiempo transcurrido desde que se transfirieron (Monson, y otros 2018).

En el caso del ADN los más importantes son los factores post-transferencia, ya que son los que pueden degradar la muestra. Los factores pre-transferencia y de transferencia no son tan significativos pues difícilmente afectan a la calidad de la muestra, si bien sí pueden afectar a la cantidad de la misma.

En una situación real del escenario de un crimen, el Servicio de Criminalística de la Guardia Civil tiene en cuenta todos estos factores. A título informativo se puede citar que en estos momentos se está redactando una nueva instrucción técnica para el revelado de huellas en cintas adhesivas y para extraer conclusiones se están evaluando los análisis comparativos realizados en más de 3.000 impresiones dactilares.

Por lo tanto, este estudio no puede pretender sacar conclusiones definitivas sobre la influencia de la radiación en las evidencias forenses, hecho que sería seguramente muy pretencioso y arriesgado con un número limitado de muestras, pero sí establecer y desarrollar una línea de trabajo que permita determinar unos intervalos de resistencia de las muestras a las radiación y a partir de ahí desarrollar procedimientos de trabajo en base a los resultados obtenidos y esbozar unas conclusiones preliminares.

3.1.1 ADN.

Los tipos de análisis de ADN que se realizan en el Departamento de Biología de la Guardia Civil incluyen:

- ADN nuclear (permite la plena identificación).
- ADN mitocondrial (establece un tronco familiar vía materna).
- Cromosoma "Y" (establece un tronco familiar vía paterna).

El ADN adecuado para los análisis se encuentra en muchos tipos de muestras, que pueden recogerse en diferentes lugares dependiendo del tipo de delito investigado, así como sobre distintos tipos de objetos (transportables o no), y sustratos (absorbentes o no). Para la detección de estos restos biológicos es necesaria en muchas ocasiones medios especiales como el uso de luz forense o de reactivos específicos.

Los tipos de muestras más habituales son:

- **Sangre:** puede encontrarse en forma de charcos, gotas, salpicaduras o manchas.

- **Semen:** el semen con espermatozoides es, como la sangre, una buena fuente de ADN. Aunque el semen no contenga espermatozoides (donantes con vasectomía), puede tener material suficiente para llevar a cabo el análisis de ADN. A diferencia de la sangre, es posible que el semen no deje una mancha detectable a simple vista.
- **Saliva:** en la saliva, el ADN se encuentra en las células de la piel de la boca y en los leucocitos. Como en el caso del semen, las manchas de saliva no siempre son visibles, pero pueden encontrarse en colillas de cigarrillos, mordazas o máscaras, recipientes de bebida o comida, chicles, cepillos de dientes, y sellos o sobres cerrados (solapas), un esputo, o cualquier objeto ensalivado.
- **Fluido vaginal:** en caso de delitos sexuales, el fluido vaginal puede contener una mezcla de células de ambas partes, víctima y agresor, que pueden separarse en el laboratorio.
- **Secreciones nasales:** pueden encontrarse en pañuelos usados.
- **Pelos:** sólo los pelos arrancados tienen algún valor para el análisis del ADN nuclear, ya que éste se encuentra en las células que rodean el bulbo. El tallo del pelo es factible analizar buscando ADN mitocondrial.
- **Tejido:** En el caso de heridas pueden encontrarse restos de tejido.
- **Células de la piel:** estas pueden encontrarse en raspaduras de uñas, por ejemplo cuando alguien araña con la suficiente violencia puede que haya sangre o incluso carne bajo las uñas. A veces se encuentra material celular en prendas de vestir como guantes o gorras. Algunas partes de la ropa como las axilas de una camiseta, pueden contener una mezcla de sudor y de células corporales que pueden servir para analizar el ADN.
- **Orina:** en la orina pueden encontrarse células del revestimiento de la uretra y leucocitos.
- **Huesos:** los huesos, principalmente los huesos largos como fémur o tibia, son buenas fuentes de ADN a partir de los osteocitos embebidos en la matriz ósea. También lo son las piezas dentarias, preferiblemente los molares, a partir de la pulpa dental. También es posible encontrar médula ósea en una muestra post mortem adecuada, incluso cuando el cadáver está en avanzado estado de descomposición (Jefatura de Policía Judicial 2011).

Si bien todos estos tipos de evidencias forenses contienen ADN del individuo, otro factor que habrá que tener en cuenta y que será de gran relevancia a la hora de analizar los resultados, es conocer la concentración de ADN que se encuentra en cada tipo de evidencia forense muestreada. Según indica Butler (Butler, Forensic DNA typing 2005), la cantidad no es la misma en función de la muestra considerada. En la Tabla V se realiza una comparativa de la concentración en ADN en cada tipo de evidencia forense. Para facilitar el estudio comparativo y la discusión de los resultados obtenidos, en la columna de la derecha se ha unificado las unidades de concentración, hecho que permite realizar una clasificación de mayor a menor en función de la concentración de ADN.

Para seleccionar las muestras tipo, se opta por aquellas que son más frecuentes de encontrar en una escena del delito y que representan a cada uno de los grandes grupos en que se pueden dividir las muestras. Así, del grupo que podíamos denominar “fluidos”, se coge la sangre, del de “secreciones” la saliva y del de “restos” la piel. Utilizando la Tabla V, se constata

que en este trabajo de investigación se han elegido muestras – evidencias forenses – con distintas concentraciones de ADN, hecho que permitirá realizar un estudio más exhaustivo de la resistencia a la radiación, también en función de otros factores, como concentración de ADN, contenido en agua, etc.

Tabla V. Concentración de ADN en evidencias forenses (Butler, Forensic DNA typing 2005). En la columna de la derecha se normalizan los valores.

Tipo de muestra	Cantidad de ADN	
	(Butler, Forensic DNA typing 2005)	
Sangre líquida	20000 – 40000 ng/ml	20 – 40 mg·dm ³
Mancha de sangre	250 – 500 ng/cm ²	250 – 500 ng·cm ²
Semen	150000 – 300000 ng/ml	150 – 300 mg·dm ³
Torunda con flujo vaginal postcoital	10 – 3000 ng/torunda	10 – 3000 ng/torunda
Pelo arrancado (con raíz)	1 – 750 ng/raíz	1 – 750 ng/raíz
Hebras de cabello (con raíz)	1 – 10 ng/raíz	1 – 10 ng/raíz
Saliva	1000 - 10000 ng/ml	1 – 10 mg·dm ³
Torunda oral	100 – 1500 ng/torunda	100 – 1500 ng/torunda
Orina	1 – 20 ng/ml	1 – 20 µg·dm ³
Hueso	3 – 10 ng/mg	3 – 10 µg·g ⁻¹
Tejido - pañuelo	50 – 500 ng/mg	50 – 500 µg·g ⁻¹

Al igual que se hará para el caso de las huellas dactilares, también se seleccionaron los soportes más frecuentes en que habitualmente se encuentran estos restos en los escenarios reales. Con respecto a la sangre y la saliva el medio en el que se encuentren no es tan relevante, ya que las mismas suelen recogerse mediante un hisopo, seco o humedecido, dependiendo de si se trata de muestras frescas o secas; mientras que para las muestras de piel, los investigadores del laboratorio de criminalística de la Guardia Civil, decidieron que los soportes más frecuentes en que se encuentran son en llaves y en las estrías de los tapones de botellas de plástico.

Una vez decididos los soportes, se procede a la recogida de una muestra indubitada del donante para introducirla en la base de datos de la Guardia Civil de cara a obtener futuros positivos en el cotejo de las muestras. En virtud de los objetivos de la tesis, el estudio se realiza sobre un único individuo.

3.1.1.1 Extracción de sangre:

Según las normas técnicas de trabajo del laboratorio de biología de la Guardia Civil, la recogida de manchas de sangre se realiza preferentemente usando hisopos de algodón (torundas, ver Figura 25) previamente humedecidos con agua desionizada. En estos casos es obligatorio recoger otro hisopo humedecido con la misma agua desionizada que se utilizó para la recogida de las muestras para ser utilizada como muestra de control.

La muestra y la torunda de control se empaquetan por separado una vez secas al aire. No necesitan refrigeración para ser remitidas al laboratorio. En el caso concreto de esta tesis, con una aguja estéril se produce una incisión en el dedo índice del donante y la sangre que fluye se recoge con hisopos, confeccionando así las siguientes muestras:

- 17/07369/001: dos hisopos identificados como “1”, identificados en la hoja de toma de muestras como “11”.

- 17/07369/002: dos hisopos identificados como “2”, identificados en la hoja de toma de muestras como “12”.
- 17/07369/003: dos hisopos identificados como “3”, identificados en la hoja de toma de muestras como “13”.
- 17/07369/004: dos hisopos identificados como “4”, identificados en la hoja de toma de muestras como “14”.
- 17/07369/005: dos hisopos identificados como “5”, identificados en la hoja de toma de muestras como “15”.

3.1.1.2 Muestras de saliva.

Llevada a cabo siguiendo las siguientes pautas:

- Empleo de un bastoncillo de algodón, o un hisopo estéril.
- La persona de la que se va a obtener la saliva no habrá tomado comida o bebida en los 20 min anteriores.
- Se pedirá que se enjuague la boca con agua un par de veces. Tras una espera no inferior a 30 s se procederá a la toma de muestra.
- Se llevarán puestos unos guantes adecuados durante todo el proceso.
- Se toma un bastoncillo de algodón o un hisopo estéril y se introduce dentro de la boca del donante aplicándose firmemente contra el interior del carrillo 4 ó 5 veces, debajo de la lengua y debajo de los dientes, ejerciendo un movimiento circular vigoroso asegurándose que queda bien impregnado de saliva.
- El extremo aplicado del bastoncillo se introduce, una vez seco a temperatura ambiente, preferiblemente en un pequeño sobre de papel, si se carece de otros medios específicos.
- El proceso de obtención se repite con un nuevo bastoncillo o torunda (Dirección General 2011).

Los dos envases, con los correspondientes bastoncillos, se introducen en una bolsa que se cerrará y se sellará en presencia del donante, de forma que en cualquier caso se garantice la cadena de custodia de las muestras obtenidas (ver Figura 26).

Las muestras recogidas para su radiación se clasificaron de la siguiente manera:

- 17/07369/006: dos hisopos identificados como “1”, identificados en la hoja de toma de muestras como “16”
- 17/07369/007: dos hisopos identificados como “2”, identificados en la hoja de toma de muestras como “17”.
- 17/07369/008: dos hisopos identificados como “3”, identificados en la hoja de toma de muestras como “18”
- 17/07369/009: dos hisopos identificados como “4”, identificados en la hoja de toma de muestras como “19”
- 17/07369/010: dos hisopos identificados como “5”, identificados en la hoja de toma de muestras como “20”.



Figura 25. Imagen de las muestras de sangre preparadas empleadas en el estudio.



Figura 26. Imagen de las muestras de saliva preparadas empleadas en el estudio.

3.1.1.3 Muestras de piel.

La preparación de las muestras de piel fue más compleja que en los casos anteriores, dado que en este estudio y para comprobar el efecto de la radiación en ausencia de otros contaminantes o interferencias se consideró necesaria la esterilización previa de los materiales soporte. Para ello se utilizó una vitrina de flujo laminar (Figura 27) que permite asegurar la esterilización de las muestras y la existencia de un único perfil genético. En el caso de la recogida de piel se decidió emplear dos soportes distintos, de esta manera se esterilizan cinco llaves mediante un sistema de radiación ultravioleta y se entregan al donante para que las manipule, en especial en la zona de los dientes. Tras esta operación, se procede al marcado de las siguientes muestras:

- 17/07369/011 una llave identificada como "1".
- 17/07369/012 una llave identificada como "2".
- 17/07369/013 una llave identificada como "3".
- 17/07369/014 una llave identificada como "4".
- 17/07369/015 una llave identificada como "5".

Por último se procede a esterilizar por el mismo sistema anteriormente descrito, cinco botellas de agua vacías y cerradas que posteriormente se le entregan al donante para que proceda a abrirlas girando el tapón. En esta operación se quedan adheridos al tapón restos de piel de los que se obtendrán las muestras de ADN.

La recogida de muestras por este sistema hubo que realizarla en dos ocasiones por un error en el proceso de extracción, ya que en la primera ocasión la esterilización se llevó a cabo por la parte exterior de la botella, sin embargo, a la hora de la extracción del ADN, y debido a que no se informó al analista técnico del laboratorio de cómo debía tratar la muestra, la trató como de una muestra real recogida en una escena del delito, por lo que también buscó restos de ADN en la zona más probable, esto es, en la parte interior de la boquilla de la botella y no en el tapón, identificando a una persona que no era el titular de la muestra. En este caso no se puede concluir que el ADN recogido fuera de piel o de saliva. No obstante también se han incluido en este trabajo los resultados:

- 17/07369/021 una botella de agua de plástico identificada como "1".
- 17/07369/022 una botella de agua de plástico identificada como "2".
- 17/07369/023 una botella de agua de plástico identificada como "3".

- 17/07369/024 una botella de agua de plástico identificada como “4”.
- 17/07369/025 una botella de agua de plástico identificada como “5”.

Ante el resultado de las muestras anteriores, se procedió a repetir la misma acción, empleando en esta ocasión solamente los tapones rayados, separados de la botellas, obteniendo las siguientes muestras:

- 17/07369/036 un tapón de color azul identificado como “azul1”.
- 17/07369/037 un tapón de color azul identificado como “azul2”.
- 17/07369/038 un tapón de color azul identificado como “azul3”.
- 17/07369/039 un tapón de color azul identificado como “azul4”.
- 17/07369/040 un tapón de color azul identificado como “azul5”.
- 17/07369/041 un tapón de color blanco identificado como “blanco1”.
- 17/07369/042 un tapón de color blanco identificado como “blanco2”.
- 17/07369/043 un tapón de color blanco identificado como “blanco4”.
- 17/07369/045 un tapón de color blanco identificado como “blanco5”.

Una vez recogidas las evidencias, tal y como se produce en un caso real, se confecciona la cadena de custodia, documento fundamental en una investigación, ya que va a incluir dónde se recogió un indicio, quien lo ha manipulado y por qué lugares ha pasado en cada momento (ver Figura 28). En este caso se confecciona el documento en el que figura la entrega de las muestras al donante, la entrega en el CIEMAT para su radiación, la recogida por la Unidad Técnica NRBQ de la Guardia Civil y finalmente su entrega final en el laboratorio de criminalística de la Guardia Civil para su análisis (ver Figura 29).



Figura 27. Vitrina de flujo laminar empleada para la esterilización de las muestras.

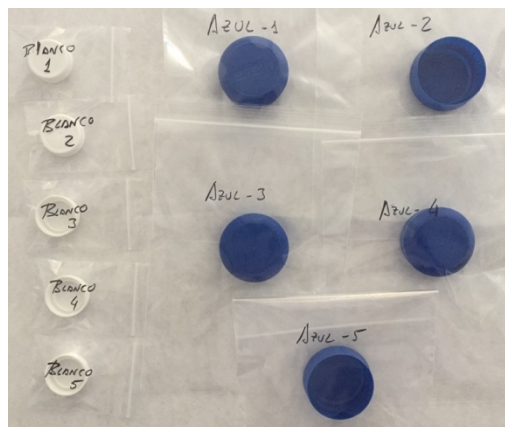


Figura 28. Muestras de tapones marcadas con el ADN y preparadas para irradiación.

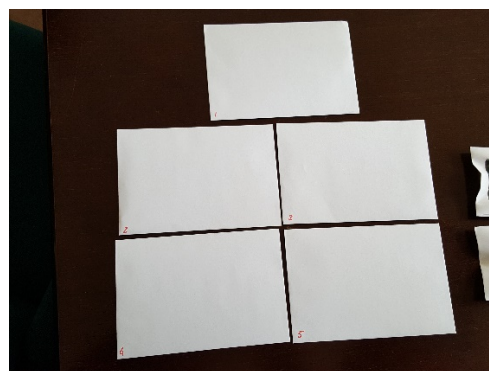


Figura 29. Muestras de piel en llaves y tapones preparadas para el transporte.

3.1.2 Tipos de huellas dactilares.

Existen tres tipos de huellas dactilares: latentes, visibles y moldeadas. Las primeras son aquellas huellas que han quedado estampadas sobre una superficie y cuya característica es que no son fácilmente visibles ya son el resultado de la marca dejada por las secreciones de la piel y el polvo. Por el contrario, las huellas visibles o coloreadas son aquellas dejadas cuando el dedo está impregnado con una sustancia, por ejemplo sangre o tinta. Finalmente, se denominan las huellas moldeadas a aquellas que son el resultado de las marcas dejadas en superficies blandas como la masilla o el jabón.

Este trabajo de investigación se centra en el estudio del efecto de la presencia de campos radiación en las huellas latentes, ya que si se ampliara a las visibles y las moldeadas, habría que evaluar primero el efecto de la presencia de campos de radiación en sustancias como sangre, tintas de diversos tipos, plastilinas, jabones, barro, etc., y con posterioridad en las huellas impresas en ese tipo de materiales, lo cual añadiría una complejidad mayor al estudio que, desde el punto de vista científico, sería de interés, pero que queda fuera de los objetivos con que se planteó este trabajo de investigación.

Otro aspecto clave a tener en cuenta antes de iniciar el estudio, es diferenciar entre revelado e identificación. Por revelado se entiende el proceso de localización de una huella y la preparación para su estudio, mientras que la identificación es la comparación de esa huella revelada con otras para averiguar si se trata del mismo donante y, en la medida de lo posible, identificarlo. Obviamente el proceso de revelado es previo y necesario para la identificación, motivo por lo que esta memoria de investigación se centra únicamente en el revelado, basándose en la premisa de que si una huella no se puede revelar no podrá procederse a su posterior identificación⁴².

Es importante señalar que una huella que no puede revelarse, obviamente no podrá ser identificada, sin embargo esta propiedad no es biunívoca, toda vez que una huella revelada no tiene por qué llegar siempre a ser identificada. Puede ocurrir que no exista un registro de esa huella en las bases de datos, por lo que no se podrá desvelar la identidad del propietario, o simplemente que se trate de una huella parcial o que en el revelado no han quedado claramente definidas las crestas y los puntos característicos, por lo que no puede llevarse a cabo ningún cotejo con otra huella indubitada.

Como se ha comentado, existen un gran número de variables que influyen en una huella latente, si a estos factores les añadiéramos otros que influyen en su identificación, como el que la huella sea parcial o total, a qué dedo pertenece o si en el fragmento de huella se encuentran más o menos puntos de identificación, se introducirían un número tal de incertidumbres que haría imposible sacar una conclusión. Debe por tanto acotarse al máximo el objeto de estudio para, dentro de sus limitaciones, obtener conclusiones válidas y dignas de tenerse en cuenta a la hora de establecer procedimientos de actuación. Este trabajo se centra únicamente en cómo afecta la presencia de campos de radiación ionizantes en el revelado de huellas latentes. Si se puede revelar se da por hecho que se pueden iniciar los trabajos de identificación como si de una huella “normal” se tratara. Si esa huella finalmente acaba o no en una identificación positiva es algo totalmente ajeno a la radiación previa recibida y por tanto ajeno al alcance de este trabajo. El

⁴² De las fases descritas en el apartado 2.4.2.2.1 referidas al proceso de identificación lofoscópico, este trabajo se centrará en la fase de análisis, en la que se localiza y revela y se hace un estudio preliminar de la huella, anterior a la fase de comparación en la que ya se procede a intentar la identificación del donante.

objetivo final de este trabajo es determinar si merece la pena asumir los riesgos que supone la exposición del interviniente para intentar revelar una huella latente que ha sobrepasado un determinado umbral de radiación ionizante.

Existen tres tipos de factores que influyen en la calidad de la huella latente: la naturaleza de la superficie, el tiempo transcurrido desde que fue depositada y las condiciones de preservación. Nuevamente acotando este estudio, nos centraremos en la naturaleza de las superficie, manteniendo estables el tiempo de depósito y las condiciones de preservación.

3.1.2.1 *Impresión de muestras.*

Al objeto de tener la mayor calidad de las evidencias, con la colaboración de expertos del laboratorio de criminalística de la Guardia Civil y en sus propias dependencias, se realizó la toma de huellas objeto de estudio en condiciones óptimas y sin la influencia de factores externos que pudieran afectar a su calidad. Pese a ello, se pudo comprobar (a posteriori) que en el caso de la huella 17, sobre sustrato de metal, no fue depositada con la calidad suficiente, por lo que no pudo revelarse. Con el fin de completar el análisis se procedió a una nueva toma de muestras y a la repetición del ensayo.

Como se ha comentado en párrafos anteriores y se deduce de la base de datos de tráfico ilícito de la OIEA (OIEA 2018) dada la cantidad de incidentes existentes que necesitan investigación forense (ver Figura 8) es necesaria la recogida de evidencias no sólo en los escenarios de un posible accidente NRBQ, sino incluso en escenarios derivados del tráfico ilícito de materiales, por lo que será necesario conocer si la presencia de radiación tendrá o no un efecto sobre estas evidencias. A partir de una revisión del estado del arte, se comprueba que existen algunos estudios que demuestran la influencia de la radiación en las propiedades quimicofísicas de los materiales, e incluso en las propias evidencias forenses, como consecuencia de ruptura de enlaces, formación de radicales y hasta de nuevas especies que pueden favorecer la corrosión de materiales como consecuencia de la aparición de procesos de radiólisis (Holmes-Siedle y Adams 2002) (Colella, y otros 2009) (Quiñones, Merino, y otros 2003). Por este motivo para este estudio se eligieron una serie de sustratos de distinta naturaleza en los que se depositaron las impresiones dactilares. Estos materiales se seleccionaron en función de su probabilidad de aparición en una escena del delito y valorando además que debería haber una variación en la porosidad de los mismos para ver cómo afectaba la irradiación a la huella y al sustrato. Con estas premisas se eligieron los siguientes soportes:

- Papel de 100 g.
- Papel reciclado.
- Cartón.
- Papel de periódico.
- Papel de aluminio.
- Vidrio.
- Plástico.
- Metal.

Se realizaron distintas series de ensayos, constituidos en grupos de 6 muestras en cada uno de estos soportes, dejando una muestra tipo indubitada y otra que sería sometida a distintas dosis de radiación sobre cada soporte.

Con el fin de lograr la mayor homogeneidad entre las muestras, todas ellas pertenecían a la misma persona, el autor de este trabajo, y se depositaron a la misma hora sobre el mismo sustrato, esto es a las 10:00 horas de días sucesivos se depositaban las huellas con el siguiente patrón de dedos:

- meñique izquierdo sobre papel 100 g,
- anular izquierdo sobre papel reciclado,
- corazón izquierdo sobre cartón,
- índice izquierdo sobre papel de periódico,
- índice derecho sobre papel de Al,
- corazón derecho sobre vidrio,
- anular derecho sobre metal y
- meñique derecho sobre plástico.

Este procedimiento se repitió durante los días necesarios para la preparación de todas las muestras, de tal manera que quedaron depositados varios juegos de cinco huellas cada uno para ser radiados a distintas dosis y un juego más indubitado sobre cada soporte y en condiciones ambientales sin irradiar.

Tras la primera irradiación de un grupo de muestras de huella única y completa, se llevó a cabo una reunión con el personal especialista de la Guardia Civil, "*criterio experto*". Teniendo en cuenta que cada huella es única y diferente de cualquier otra, se concluyó que no podían compararse los resultados de calidad del revelado entre dos huellas diferentes, aun teniendo en cuenta que el sustrato de depósito fuera el mismo y que el donante también fuera la misma persona. Por este motivo se decidió cambiar el procedimiento experimental de este ensayo y hacer un único depósito en cada tipo soporte, de forma que una mitad quedara como muestra indubitada (en los laboratorios de Criminalística de la Guardia Civil) y la otra fuera irradiada en el CIEMAT y devuelta para su estudio. De esta manera, el nuevo procedimiento experimental permite evaluar el efecto de la radiación sobre la misma huella. Dicha metodología es novedosa y se diferencia de otras publicadas por otros grupos de investigación (Ramotowski y Regen 2005) (Colella, y otros 2009). Es importante mencionar que si el objetivo fuera trabajar con la identificación, sí tendría sentido contar con huellas totalmente radiadas para comparar todos los puntos característicos con una indubitada sin radiar, pero al pretender analizar cómo afecta la radiación a una huella latente, hace falta ver si la huella en cuestión se puede revelar, y comparar la calidad de ese revelado con exactamente la misma huella sin radiar, ya que como se ha repetido en sucesivas ocasiones, cada huella es única y diferente, sufriendo el efecto de numerosos factores, por lo que debe compararse consigo misma, y no con otra, aunque sea del mismo donante y depositada en idénticas condiciones.

Siguiendo el mismo procedimiento y en una reunión entre el grupo de investigación y los expertos de la Guardia Civil, se decidió el tipo de soportes en los que sería más conveniente depositar las huellas, y se decidió que algunos de los elegidos en la primera ocasión serían repetitivos al no presentar especiales características diferenciadoras, por lo que se procedió a una selección más ajustada de materiales, en función de la aparición en un escenario de un crimen por lo que se seleccionaron los siguientes:

- Papel de 100 g.
- Papel reciclado.
- Vidrio.

- Plástico (película para radiografía).
- Metal (chapa de Al).

A continuación fueron depositadas huellas latentes por cinco donantes⁴³. Cada donante posó un dedo en cada uno de los soportes. Estas huellas latentes están generadas de tal forma que el soporte se puede dividir en dos, la mitad izquierda se denomina “A” y la mitad derecha se denomina “B” (ver Figura 31).

La clasificación de las huellas se realizó siguiendo la metodología empleada por el Departamento de Identificación del Servicio de Criminalística, que es la siguiente:

- Indicio 17/07369/031: caja de cartón conteniendo papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, chapa metálica y plástico. Se reseña en la cadena de custodia como indicio 1.
- Indicio 17/07369/032: caja de cartón conteniendo papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, chapa metálica y plástico. Se reseña en la cadena de custodia como indicio 2.
- Indicio 17/07369/033: caja de cartón conteniendo papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, chapa metálica y plástico. Se reseña en la cadena de custodia como indicio 3.
- Indicio 17/07369/034: caja de cartón conteniendo papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, chapa metálica y plástico. Se reseña en la cadena de custodia como indicio 4.
- Indicio 17/07369/035: caja de cartón conteniendo papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, chapa metálica y plástico. Se reseña en la cadena de custodia como indicio 5.



Figura 30. Imagen de la caja de muestras que se trasladaba desde el laboratorio de Criminalística de la Guardia Civil al CIEMAT siguiendo la cadena de custodia.

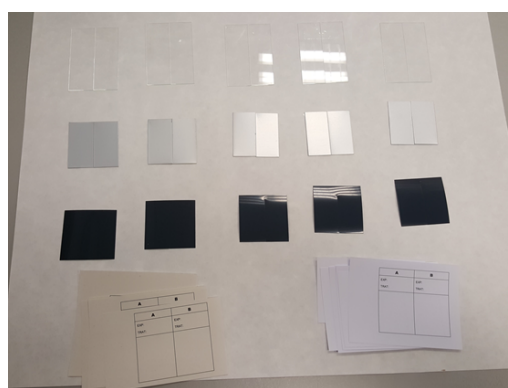


Figura 31. Muestras de huellas dactilares finales.

3.2 Técnicas experimentales.

Como se indicó al principio de este capítulo, las técnicas experimentales que se describen en esta memoria de investigación, sobre todo para el revelado y análisis de las evidencias forenses son las implementadas en por la Guardia Civil.

⁴³ En esta ocasión ya no importa tanto el donante, sino que el soporte contenga la misma huella. Por ese motivo no era relevante que las huellas fueran depositadas por diferentes personas.

3.2.1 Análisis del ADN.

La práctica de la prueba del ADN va a conllevar una serie de fases o etapas que se esquematizan a continuación:

- Pasos previos a la prueba del laboratorio.
- Realización de la prueba en el laboratorio, consistente en el análisis de los polimorfismos de ADN a partir de las muestras biológicas: preparación de las muestras, extracción del ADN, amplificación, identificación de los polimorfismos; y obtención del correspondiente perfil genético de la muestra.
- Comparación de los resultados con las muestras indubitadas.
- Estudio matemático-estadístico de los resultados en los casos que exista una coincidencia alélica en los perfiles genéticos de las muestras analizadas, basado en el cálculo probabilístico. Para la correcta valoración de la prueba es imprescindible contar con estudios poblacionales que indiquen la frecuencia de los polimorfismos genéticos analizados en la población de estudio.
- Elaboración del informe pericial.

3.2.1.1 Determinación del Perfil genético.

La técnica preferida actualmente por la comunidad científica para el análisis de ADN humano se basa en el examen de los loci de ADN microsatélite, es decir, secuencias repetidas de ADN en las que las unidades de repetición polimórficas se componen generalmente de dos a cuatro pares de bases. Una secuencia de ADN de 20 pares de bases "ATGA-ATGA-ATGA-ATGA-ATGA" representa 5 copias (repeticiones) dispuestas en forma de tándem con el tetra nucleótido "ATGA". Los polimorfismos (la variabilidad entre distintos sujetos) en STRs se deben al distinto número de copias del elemento repetido, en este caso "ATGA", que puede aparecer en una región concreta del ADN para una población determinada. Si esta región fuera estudiada en diferentes sujetos, el número de repeticiones podría variar, por ejemplo, desde 5 veces hasta 17, lo que nos va a permitir diferenciarlos. Al número de veces que se repite una secuencia en un STR o marcador se le llama alelo. Como se verá más adelante, estas STR pueden amplificarse incluso a partir de cantidades inferiores al ng de ADN. La separación de los fragmentos amplificados se lleva a cabo mediante electroforesis capilar. La amplificación simultánea de loci STR mediante la técnica de PCR⁴⁴ multiplex y la detección automática de los fragmentos de ADN hacen posible un sistema de análisis rápido y sensible que permite aprovechar al máximo las muestras y tiene un alto poder de discriminación.

Para cada STR el grado de polimorfismo es muy elevado y puede variar enormemente entre individuos. Cada STR es un único locus con múltiples alelos y la variación genética entre individuos está basada en el número de repeticiones del tándem. Si el resultado en un STR es un alelo, indica que ambos padres han transmitido el mismo número de repeticiones (el mismo alelo) en ese fragmento del ADN y se les califica como marcadores homocigotos. Cuando sean dos los

⁴⁴ Polymmerase Chain Reaction. Para poder disponer de la cantidad necesaria de ADN para efectuar el análisis, se emplea el método "reacción en cadena de la polimerasa" ("Polymerase Chain Reaction", PCR) que amplifica o copia regiones del ADN, lo que permite obtener perfiles a partir de cantidades mínimas de material genético. El proceso de la PCR revolucionó hasta tal punto la esfera de la biología molecular que su inventor, el Dr. Kary Mullis, recibió en el año 1.995 el Premio Nobel por su descubrimiento. Mediante la utilización de este proceso se producen millones de copias de segmentos seleccionados de regiones variables de ADN, que se pueden utilizar para obtener perfiles.

alelos por marcador, cada uno de ellos ha sido transmitido por un progenitor, y son nombrados marcadores heterocigotos. La combinación de varios de estos marcadores constituye el perfil genético.

La determinación del perfil genético a partir de extractos de ADN, conocido coloquialmente como “tipado de ADN”, comprende 4 fases analíticas secuenciales (ver Figura 32):

1. Aislamiento/extracción de ADN.
2. Cuantificación del ADN extraído.
3. Amplificación de marcadores genéticos por reacción de PCR múltiplex.
4. Separación de fragmentos de ADN mediante electroforesis capilar en secuenciador automático.

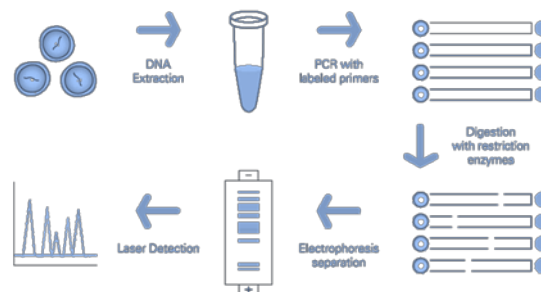


Figura 32. Gráfico de análisis del ADN (imagen: ThermoFisher Scientific).

3.2.1.1.1 Aislamiento/extracción de ADN.

La cantidad de ADN en un tipo determinado de células es constante, permaneciendo inalterable ante cualquier circunstancia (metabólicas, nutricionales, ambientales, etc.) y está en proporción con la complejidad de la propia célula y la cantidad de información genética que contiene.

Puesto que el ADN se encuentra en el interior de la célula, debe llevarse a cabo un proceso de extracción que provoque la rotura de la estructura de las membranas celulares para liberar el ADN. Existen numerosos protocolos de extracción de ADN, pero todos ellos deben cumplir un doble cometido: en primer lugar la liberación del ADN del interior del núcleo y en segundo lugar la purificación del ADN, eliminando aquellas sustancias que puedan interferir en los análisis posteriores. Al romper la célula, queda en disolución una variedad de membranas, proteínas, enzimas, sales, iones, orgánulos celulares, etc. Entre estas enzimas están las nucleasas, las cuales pueden provocar la degradación del ADN, por lo que es importante proceder a su eliminación mediante un proceso de purificación.

La elección del protocolo de extracción se realiza en función de la muestra biológica a estudiar: tipo de tejido, soporte sobre el que se encuentra o grado de degradación que se pueda esperar. Actualmente, los procesos de extracción se han automatizado de forma eficiente, contando con varias plataformas robóticas diferentes y con distintos protocolos de elección según el tipo de muestra.

En todo caso lo normal es que se emplee, además de agua, los siguientes componentes:

- Agentes tensioactivos: para liberar el contenido celular.
- Sustancias tamponantes: que amortigüen las sales y ácidos presentes en el medio.

- Agentes quelantes que retiren las trazas metálicas necesarias por las endonucleasas para actuar.
- Agente que haga la disolución hipertónica y provoque el estallido de las células.
- Proteinasa K, que retira calcio del medio. reduciendo la actividad catalítica y evitando la actuación de las nucleasas.

Una vez efectuada la lisis, con la separación de la fase orgánica y acuosa, se hace pasar esta última por una membrana de baja absorción e hidrofílica, lo que va permitir el aumento de la concentración en unas 80 veces, con una mínima pérdida de material genético.

El proceso de extracción de las muestras objeto de este trabajo se ha realizado mediante la plataforma *Automate Express™* (Thermofisher Scientific) que se basa en la utilización de una resina paramagnética revestida de sílice, que tiene la característica de conseguir que se adhieran a su superficie las moléculas de ADN. Dicho proceso comprende dos fases diferentes:

- *Fase de Lisado del material celular*: consistente en la liberación del ADN rompiendo las membranas celulares y separando las histonas que lo protegen. Para ello se ha incubado a 56 °C, con el *PrepFiler Express BTA™ Forensic DNA Extraction Kits*, compuesto por un tampón que permite mantener el rango de PH adecuado para la conservación del ADN y un detergente de tipo iónico para solubilizar componentes celulares. A este tampón se le añade proteinasa K, enzima que es capaz de romper las proteínas presentes en las membranas celulares y digerir las histonas que protegen el ADN.
- *Fase de purificación del ADN*: consistente en la eliminación de los desechos celulares del extracto digerido, entre las que se encuentran proteínas residuales o componentes de membrana, así como los posibles inhibidores del proceso de copiado de ADN o PCR, entre los que se encuentran los detergentes iónicos utilizados en la fase anterior.

El proceso de purificación realizado por la plataforma *Automate Express™* se basa en la atracción que ejercen las partículas magnéticas, cargadas positivamente, sobre las moléculas de ADN, de carga negativa, de manera que estas últimas se adhieren a la superficie magnética. Una vez unidas, se realizan una serie de lavados mediante los cuales se eliminan tanto los restos celulares procedentes de la lisis como los productos utilizados durante la misma. Completados dichos lavados, las partículas magnéticas son inducidas químicamente a un cambio de carga, lo que permite la separación de las moléculas de ADN adheridas. El tampón de elución permite la recuperación del extracto purificado final.

3.2.1.1.2 Cuantificación de ADN.

El proceso de cuantificación permite conocer la concentración de un extracto de ADN. Es un proceso necesario para que los resultados de amplificación sean los óptimos, dado que el defecto o el exceso de ADN en el proceso de PCR pueden dar lugar a resultados negativos o a problemas en la interpretación de resultados.

Existen diversas técnicas para estimar la concentración de ADN, entre las que se encuentran la espectrofotometría, la fluorimetría o las técnicas de hibridación con sondas específicas (Slot-Blot). Sin embargo, la técnica más empleada es la de PCR a tiempo real, la cual se describirá en detalle en el epígrafe siguiente.

La principal ventaja del método PCR es que hace posible el análisis con una cantidad pequeña de ADN. Asimismo, la técnica de la amplificación es rápida y extremadamente útil para analizar el ADN a partir de material humano degradado encontrado en muestras biológicas antiguas o parcialmente deterioradas. Por este motivo, las pruebas basadas en la PCR se han convertido en un método estándar utilizado en la práctica totalidad de los laboratorios de criminalística. Su principal ventaja es que los procesos de amplificación y detección se producen de manera simultánea. La detección se basa en la monitorización de la fluorescencia emitida por la síntesis de nuevo ADN durante la amplificación, que es directamente proporcional a la cantidad de ADN.

En el caso de las muestras tratadas en este trabajo, la cuantificación se ha llevado a cabo mediante el “Real Time PCR 7500 Sequence Detection Systems”. El equipo “Real Time PCR 7500 Sequence Detection Systems” combinado con el Kit Quantifiler® Human DNA Quantification Kit de Applied Biosystems, es un sistema de detección por fluorescencia basado en sondas marcadas con fluorocromos (ensayo TaqMan), mediante un proceso de transferencia de energía fluorescente por resonancia (FRET). Las sondas Taqman son oligonucleótidos (fragmentos cortos sintéticos de ADN) que forman una secuencia complementaria a la diana de ADN que se quiere amplificar y en sus extremos se encuentran unidos dos fluorocromos:

- I. El que se encuentra en el extremo 5'⁴⁵ actúa como donador (reporter) y emite fluorescencia al ser excitado,
- II. el situado en el extremo 3' actúa como aceptor (quencher) y absorbe la fluorescencia liberada por el donador.

El método en definitiva establece la cantidad de ADN existente en una muestra en base al grado de fluorescencia en la misma a medida que avanza el proceso de PCR, pudiendo detectar con precisión concentraciones de ADN de entre 0.023 ng·μl⁻¹ - 50 ng·μl⁻¹.

En el proceso de amplificación de la PCR, además de las muestras problema, también se procesan muestras de ADN estándar de concentración conocida. De manera que los valores de fluorescencias emitidas por estos patrones, representadas en una escala logarítmica, conforman la recta patrón en la que se van a extrapolar los valores de las muestras problema, estimando la cantidad de ADN existente en los extractos iniciales.

Los distintos Kits de Quantifiler® incluyen un control interno (IPC) que permite verificar que la polimerasa, el ensayo y el lector funcionan correctamente, así como la presencia de inhibidores que puedan interferir en la amplificación.

⁴⁵ La convención química de nombrar los átomos de carbono en el pentosa de los nucleótidos numéricamente, le confiere los nombres de extremo 5' y extremo 3'. Así el extremo 5'- designa el extremo de una hebra de ADN que coincide con el grupo fosfato del quinto carbono de la respectiva ribosa o desoxirribosa terminal, mientras que el extremo 3' coincide con el grupo hidroxilo del tercer carbono.

3.2.1.1.3 Amplificación de ADN.

Así como en los procesos de extracción y cuantificación existen diferentes técnicas que permiten obtener resultados similares, en la amplificación de ADN solo existe una metodología: la PCR, la cual puede ser subdividida en diversas variantes según el objetivo que se persiga⁴⁶.

La Reacción en Cadena de la Polimerasa o “PCR” se trata de un proceso enzimático en el que se obtienen miles de copias a partir de una secuencia específica de ADN. Este proceso fue descubierto en 1988 y fue clave para que el análisis de ADN se convirtiera en una técnica rutinaria más al simplificar y acelerar enormemente el proceso de amplificación. Entre las ventajas de la PCR podemos enumerar: alta sensibilidad, especificidad, eficiencia, fidelidad, automatización, rapidez, sencillez, abaratamiento de costes y facilidad de interpretación de los resultados. Características que se van incrementando con el desarrollo de nuevas fórmulas y nuevas tecnologías.

En la estructura de doble hélice del ADN, las dos cadenas permanecen unidas mediante un proceso conocido como hibridación. En esa doble cadena hay unas reglas fijas de complementariedad: la A de una cadena siempre se aparea con la T en la cadena complementaria (mediante 2 puentes de H) y la C siempre se aparea con la G (mediante 3 puentes de H). Esto permite que conociendo la secuencia de una de las cadenas pueda deducirse la de la cadena complementaria. La hibridación es una propiedad fundamental del ADN en su estado natural en la célula. Sin embargo, los puentes de H que mantienen unidas las dos cadenas pueden romperse mediante elevación de la temperatura o tratamiento químico, proceso denominado desnaturalización. Un procedimiento común para desnaturalizar la doble cadena de ADN es calentarlo a temperaturas cercanas al punto de ebullición o bien exponerlo a agentes químicos desnaturalizantes, como la urea o la formamida. La desnaturalización es un proceso reversible: si un fragmento de ADN se calienta se separarán sus dos cadenas, pero si se disminuye la temperatura, las cadenas de ADN encontrarán a su complementaria y se unirán mediante un proceso llamado renaturalización (Farfán Espuny 2004).

El proceso completo se iniciaría con una secuencia molde de ADN, esto es, una zona concreta de ADN, loci, que se pretende amplificar y que no irá más allá de los 300 pares de bases. A continuación se añaden dos secuencias cortas de ADN denominadas primers o cebadores, cada una de las cuales presenta homología con una región de una de las hebras de ADN molde. Las hebras se separan por calor, 94 °C, permitiendo a los cebadores anillar con sus secuencias complementarias cuando se reduce la temperatura a 60 °C, gracias a la complementariedad antes mencionada. De esta forma, la secuencia es flanqueada por los primers por ambos lados, y cada uno expone su extremo 3' al que seguir añadiendo nuevos nucleótidos para crear la hebra copiada hacia el interior de la región a amplificar. En este momento la polimerasa sintetiza la primera pareja de hebras complementarias de la reacción, añadiendo nucleótidos en dirección 3'-5' (González Medina, El análisis criminalístico del ADN: de la detección a la detención. 2012).

La PCR consiste en múltiples ciclos de incremento y descenso de la temperatura que se llevan a cabo en sistemas térmicos programables llamados termocicladores (aparatos que enfrían y calientan las muestras cíclicamente a lo largo de la PCR). Con cada ciclo, el número de copias

⁴⁶ Dependiendo el estudio que se pretenda realizar: análisis de STR, cromosoma Y, ADN-m, SNPs (single nucleotide polymorphisms o MiniSTR, se utilizarán unos primers u otros, es decir, variarán las secuencias que se unen a los lados de la región a amplificar y que permiten cortarla.

de ADN se va incrementando exponencialmente (2^n) a partir de la hebra molde de partida. De esta manera se consigue que los productos de PCR, denominados amplicones, se encuentren en cantidad suficiente para ser analizados posteriormente mediante secuenciadores automáticos (Butler, Introduction to Interpretation Issues 2013) .

La reacción de amplificación requiere por tanto la presencia de una serie de componentes esenciales:

- Secuencia molde de ADN: la que se quiere copiar.
- *Primers* o cebadores: oligonucleótidos flanqueantes de los fragmentos de ADN que se van a amplificar.
- ADN polimerasa: enzima encargada de copiar el ADN⁴⁷
- dNTPs (desoxirribonucleótidos trifosfato): constituyentes básicos de la molécula de ADN.
- otros componentes necesarios para la adecuada realización del proceso como: tampón de pH, $MgCl_2$ y BSA.

Una vez incluidos todos los componentes en la reacción, el proceso de la PCR transcurre mediante una sucesión de ciclos, cada uno de los cuales incluye tres fases (Figura 33):

- 1) *Fusión o desnaturalización*: mediante elevación de la temperatura a 94 – 95 °C las dos cadenas de la doble hélice de ADN molde se separan, quedando en forma de cadena simple.
- 2) *Hibridación*: al disminuir la temperatura a 50 - 60 °C, los cebadores se unen al ADN molde justo en el lugar de sus secuencias complementarias (su pequeño tamaño favorece esta unión frente a la posibilidad de renaturalización o unión de la cadena complementaria de ADN molde).
- 3) *Extensión o elongación*: el calentamiento a 72 °C (temperatura óptima de funcionamiento de la polimerasa), permite la extensión de la cadena de ADN a partir de los cebadores mediante la adición sucesiva de nucleótidos tomando como referencia la secuencia del ADN molde.

Estos tres pasos se repiten cíclicamente entre 25 y 35 veces, de forma que el proceso total de la reacción dura aproximadamente 3 horas. En cada ciclo se produce un incremento exponencial en el número de copias, de forma que el resultado de la reacción de PCR es la obtención de una solución con millones de copias del segmento de ADN interesado.

⁴⁷ Para esa reacción se utiliza la Taq DNA-polimerasa, obtenida de la bacteria *Thermus aquaticus*, ya que tiene la característica de que continúa siendo activa tras el choque de temperatura de 94°C.

Además de las etapas descritas anteriormente, que componen cada ciclo de la PCR, el proceso completo requiere dos etapas adicionales:

- una etapa inicial previa a los ciclos, a una temperatura elevada, aproximadamente 95 °C, que se mantiene durante varios minutos y cuya función es doble: por un lado, sirve para inactivar proteasas y nucleasas presentes en la muestra, (como la proteinasa K utilizada en el procesos de extracción); y por otro lado, como paso previo de activación de la polimerasa empleada en la extensión de fragmentos.
- una etapa final posterior a los ciclos, a la temperatura de la fase de extensión, entre los 60 – 72 °C, dando un tiempo extra que permite que se complete la copia de todos los fragmentos amplificados.

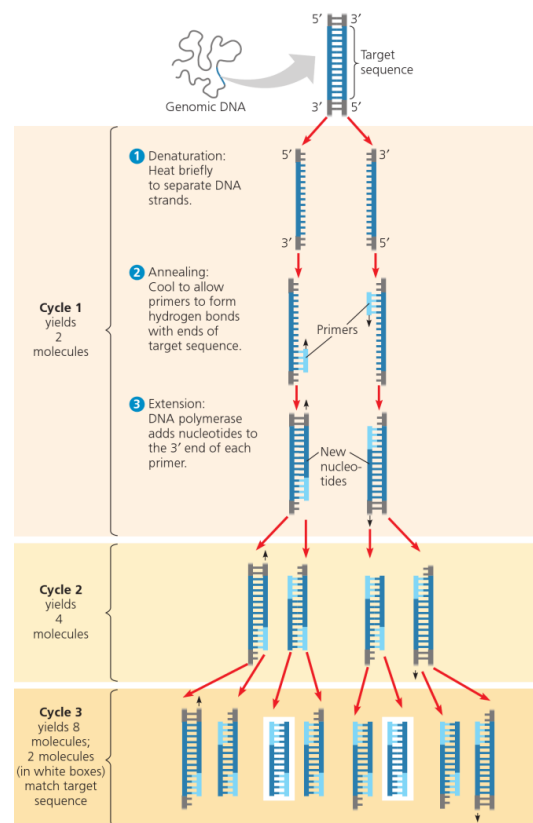


Figura 33. Esquema de amplificación del ADN mediante por PCR (LaboratoryInfo 2015).

La tecnología de la amplificación de múltiples marcadores simultáneamente (amplificación multiplex) por los sistemas de Applied Biosystem, emplea *primers* marcados fluorescentemente en su extremo 5'. La reacción de amplificación puede contener varios marcadores con alelos que solapen su rango de tamaño dado que los amplicones producidos se diferencian posteriormente de manera fácil y automatizada por el fluorocromo que lleva unido el *primer*. Uno de los colores está reservado para marcar el estándar de tamaño. Tanto la amplificación como el marcaje mejoran la sensibilidad y la especificidad de la detección.

3.2.1.1.4 Separación de fragmentos de ADN.

La separación de fragmentos de ADN se realiza mediante electroforesis. Esta técnica está basada en la movilidad diferencial de las moléculas, dependiendo de dos variables: la carga y la masa, cuando se encuentran sometidas a la influencia de un campo eléctrico.

Existen numerosas variantes de la electroforesis como pueden ser la electroforesis en gel de agarosa o en gel de acrilamida, sin embargo el método más empleado para la separación y detección de fragmentos y secuencias de ADN en los laboratorios forenses es la electroforesis capilar automatizada.

La electroforesis capilar automatizada detecta los fragmentos de ADN (alelos de cada *locu*), separándolos de dos maneras distintas:.

- Separación por resolución espacial. Las moléculas de ADN cargadas negativamente, disueltas en *buffer*, se someten a la influencia de un campo eléctrico, de manera que migran hacia el electrodo positivo. Las muestras inyectadas en el capilar migran en función de su tamaño: los fragmentos más pequeños son más rápidos y se detectan antes que los fragmentos más grandes.
- Separación en base al colorante fluorescente, el cuál emite en una longitud de onda específica según, al incidir sobre él una fuente de excitación láser situada cerca del extremo final del capilar. Este marcaje se produce durante el proceso de amplificación, mediante la incorporación de las diferentes moléculas fluorescentes a través de un *primer* marcado. Con esto se consigue que una de las dos hebras nuevas de ADN generadas en cada ciclo de la PCR tengan incorporado el colorante fluorescente (Butler, Introduction to Interpretation Issues 2013).

El proceso de electroforesis se realiza de manera automática e individual para cada muestra problema: una muestra por cada capilar. Para la realización de los análisis posteriores, es necesario cargar conjuntamente con cada muestra un patrón interno o estándar de tamaño, formado por un grupo de fragmentos de ADN de tamaños conocidos. Una vez comenzada la electroforesis, el sistema registra el tiempo que transcurre desde su inyección en el capilar, hasta su paso por la ventana de detección. Es ese momento cuando un láser incide sobre la muestra excitando los marcadores fluorescentes presentes, los cuales emitirán luz a una longitud de onda determinada para cada colorante. La emisión de luz es captada por una cámara CCD que la transforma en una señal electrónica denominada unidad relativa de fluorescencia (*RFU*), que queda representada en forma de picos de diferentes colores, uno por cada variante de cada marcador, dando lugar a un diagrama al que se denomina electroferograma.

Como se puede observar en la Figura 34 en la parte superior de cada bloque aparece el nombre del marcador. Por debajo de esta casilla, el tamaño en pares de bases del fragmento, lo que permite establecer cuántas repeticiones en tándem representa. En cada marcador los picos, que serán dos si la longitud del fragmento es diferente en cada cromosoma o único si es idéntica, tienen asociado un recuadro en el que figura el número de repeticiones asociadas. El eje-y muestra la intensidad de la luz captada por la cámara CCD, o lo que es lo mismo, a la cantidad de ADN que contiene la muestra, por lo que en condiciones normales los picos correspondientes a homocigotos serán más altos que los heterocigotos, puesto que deberían contener aproximadamente el doble de ADN. El eje-x marca el tiempo.

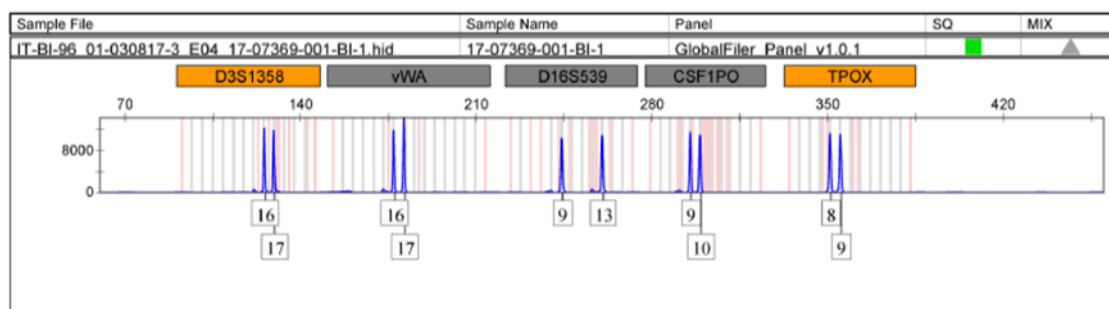


Figura 34. Ejemplo de una fracción del informe de un electroferograma.

En definitiva, el electroferograma es un patrón de picos y valles donde se encuentra recogida la información necesaria para la construcción del perfil genético. Cada grupo de picos

corresponde a un loci, y cada pico a un alelo. De esta manera sabemos que si tan solo hay un pico, se trata de un alelo homocigoto, si hay dos, heterocigoto, y si hay tres o más, se trata de una mezcla de distintos ADNs. Por otro lado, la altura del pico marca la cantidad de ADN existente en la muestra y la posición del STR indica su tamaño, ya que los más pequeños se encuentran más a la izquierda.

Un ordenador recoge y procesa todos los datos: tiempos, picos y colores, e identifica y clasifica cada uno de los picos gracias a:

- La medición del tiempo que tarda en recorrer el capilar.
- la comparación con el estándar de tamaño interno.
- la identificación del CrF₃ (según el color) que tiene unido cada fragmento en el extremo.

Como resultado de este análisis cada pico es identificado en base a su tamaño en pares de bases (nucleótidos que lo conforman) y su color. Con posterioridad, un software específico transforma los pares de bases de cada pico en el alelo o variante correspondiente. La correlación se establece por comparación con los valores establecidos en una regla o escalera alélica (ladder) conocida, con la que cuenta el programa de análisis y que relaciona cada tamaño con el alelo al que pertenece.

Los secuenciadores empleados actualmente pueden utilizar hasta seis clorantes simultáneamente, uno de los cuales estará reservado para el estándar de tamaño molecular. Su utilización permite detectar diferentes marcadores y tamaños alélicos simultáneamente en la misma muestra, por lo que en cada capilar, en una misma electroforesis, se pueden analizar multitud de fragmentos (Figura 35).

Los secuenciadores actuales analizan simultáneamente el mismo número de muestras como capilares tengan. Lo normal en los laboratorios de genética forense es que los equipos cuenten de 8 - 16 capilares. Cabe destacar que cuantos más capilares tenga un equipo más muestras es capaz de procesar reduciéndose el tiempo de espera de resultados.

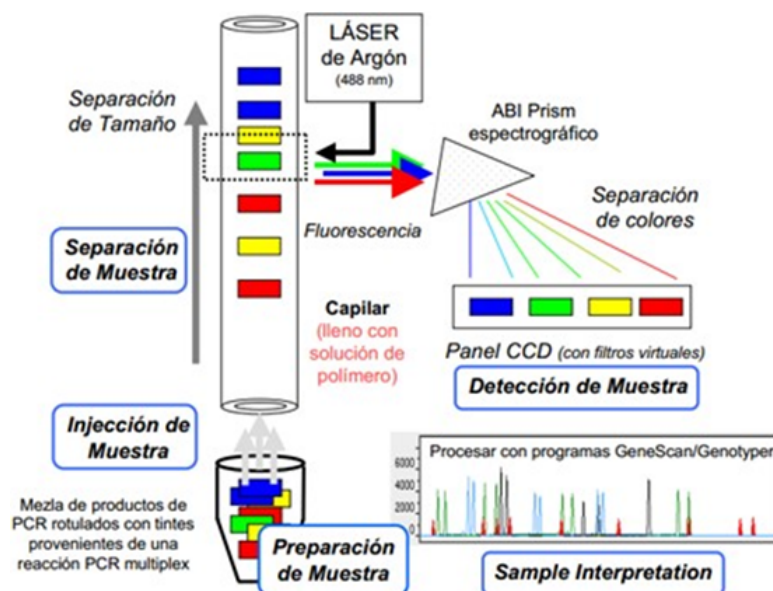


Figura 35. Esquema de secuenciación de una muestra de ADN (Butler, Buel, y otros 2004).

Para el análisis conjunto de varios marcadores genéticos mediante PCR es necesario establecer reacciones de PCR múltiplex que permiten amplificar simultáneamente varias regiones de ADN distintas

mediante la adición a la mezcla de reacción de más de un par de cebadores. Ello supuso un gran esfuerzo conjunto por parte de la comunidad científica genético-forense y de las casas comerciales para el desarrollo, puesta a punto y validación de kits de reacción de PCR optimizados para obtener el máximo rendimiento de la mínima cantidad de ADN, lo que se ha traducido en una disminución importante en la cantidad de ADN molde requerida, factor muy importante en muestras mínimas. Dados los espectaculares avances científicos y tecnológicos experimentados en los últimos años, que incluyen el desarrollo de múltiples CrF₃ para el marcaje diferencial de fragmentos de ADN y plataformas complejas de detección capaces de discriminar selectivamente entre ellos, hoy en día se pueden analizar de forma conjunta 15 marcadores STRs (e incluso más) a partir de tan sólo 0.1 - 1 ng de ADN, obteniéndose un perfil genético suficiente para la individualización de un resto biológico. De esta forma, tras una reacción de PCR se puede obtener un buen resultado de individualización a partir de un vestigio que contenga tan sólo unas 100 células, mientras que para el análisis mediante RFLP era necesario disponer de unas 20.000 células (Farfán Espuny 2004) (Butler, Buel, y otros 2004).

3.2.1.2 Interpretación del análisis.

El análisis del perfil de ADN para este trabajo se ha llevado a cabo empleado el Data GlobalFiler® PCR Amplification Kit (6-dye STR) y GeneMapper ID-X®, ambos de Applied Biosystems. El análisis incluye el estudio de 24 short tandem repeats (STRs) o marcadores microsatélite (loci) (23 STR loci y la Amelogenina), que incluyen los recogidos en el European Standard Set (ESS)⁴⁸ y en el CODIS (Combined DNA Index System). En concreto en la Guardia Civil incluyen los 12 definidos por el ESS (Schneider 2009) y los 13 establecidos por el FBI (Hares 2012) ya admitidos internacionalmente, añadiendo además 5 loci adicionales (García, Alonso, y otros, Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain 2012), tal y como se explicó en el epígrafe 2.4.2.1.3 y queda reflejado en la Tabla VI.

Una vez realizados todos los estudios descritos anteriormente, y recogida la información proporcionada por los secuenciadores, se ha realizado un análisis exhaustivo de los perfiles genéticos.

Atendiendo a la calidad de los perfiles genéticos obtenidos, se han clasificado en tres grupos:

- Perfil Genético Completo: cuando se obtienen resultados para todos los marcadores y éstos son correctos.
- Perfil Genético Parcial: cuando no se obtienen resultados para todos los marcadores estudiados o aparece algún marcador incorrecto, siempre que el perfil cuente con un mínimo de 10 marcadores correctos (9 marcadores + el marcador para la determinación de sexo, la Amelogenina).
- Ausencia de Perfil: cuando no se obtienen resultados o se obtienen menos de 10 marcadores correctos.

⁴⁸ Decisión del Consejo 2008/616/JHA.

Tabla VI. Marcadores STR empleados por distintas agencias. En color negro los marcadores comunes, en azul los exclusivos ESS, en rojo los exclusivos CODIS y en verde los añadidos por la Guardia Civil.

ESS	FBI (CODIS)	GUARDIA CIVIL
12 MARCADORES (Schneider 2009)	13 MARCADORES (Hares 2012)	24 MARCADORES
D3S1358	D3S1358	MARCADORES EES
VWA	VWA	MARCADORES CODIS
D21S11	D21S11	DY391
D18S51	D18S51	D19S433
HUMTH01	THO1	SE33
FGA	FGA	Y-indel
D8S1179	D8S1179	D2S1338
D1S1656	D13S317	AMELOGENINA
D2S441	D7S820	
D10S1248	SF1PO	
D12S391	D16S539	
D22S1045	TPOX	
	D5S818	

Centrándonos en las muestras recogidas al autor de este trabajo, como parte del análisis de perfiles de ADN relativos a polimorfismos STR se crea un perfil de referencia a partir de su propio ADN que permitirá su estudio comparativo en función de la dosis absorbida.

3.2.2 Revelado de las huellas dactilares.

Como ya se explicó anteriormente, las huellas latentes no dejan impresiones totalmente claras y visibles en las superficies en las que están depositadas. Por lo tanto lo primero que hay que conseguir es que la huella se “revele” al investigador, se muestre en unas condiciones tales que permita su estudio.

De entre los muchos sistemas de revelado existentes, los más comunes son el revelado por polvos, con cianoacrilato (CA) y el DFO. El revelado de huellas latentes con material pulverulento está basado en la aplicación de una distribución de partículas con un tamaño pequeño, que físicamente se adhieren a componentes acuosos o grasos en los residuos de la huella latente. Esta técnica es una de las más antiguas y más comúnmente empleadas en los métodos para el revelado de huellas latentes, con referencias en su uso desde 1891 por Regine Forgeot. Revelar huellas latentes con el uso de material pulverulento es relativamente simple debido a la adherencia de las partículas a los residuos de la huella, lo que permite una buena visibilidad y definición de los detalles. Los materiales pulverulentos comerciales presentan dos características esenciales: la adhesión superficial de las partículas y colorear o “pintar” los residuos. Los pigmentos de los materiales pulverulentos de revelado de huellas latentes proporcionan una visualización efectiva de las características de la huella, ofreciendo un contraste con la superficie en la que se encuentra depositada la huella (Casillas Arias 2016).

En esta memoria de investigación el revelado de las huellas objeto de estudio (tanto de referencia como irradiadas) se realizó, una vez más, siguiendo los procedimientos reglados y habituales empleados por las unidades de la Guardia Civil. Indicar que en el caso de muestras en superficies porosas (es decir, el papel de 100 g y el reciclado) se empleó DFO mientras que para las muestras en material no poroso (es decir, vidrio, plástico y metal) se empleó CA.

No es objeto de este estudio entrar en los distintos métodos empleados para el revelado de huellas y la conveniencia de emplear unos u otros en cada caso y circunstancia, pero se hace necesario para mejor comprensión del trabajo realizado, una breve reseña sobre en qué consisten los dos métodos empleados para el revelado de estas huellas.

3.2.2.1 DFO.

El 1,8-Diazafluoreno-9-uno, más conocido por DFO, se preparó por primera vez en 1950, pero su reacción con aminoácidos no se exploró hasta 1990, cuando se aplicó como reactivo de revelado de huellas dactilares. Los resultados preliminares de este estudio fueron prometedores; el tratamiento con DFO resultó un éxito presentando en huellas dactilares un color rojo o rosa pálido, intensamente fluorescente a temperatura ambiente, por lo que el DFO se identificó rápidamente como el mejor reactivo fluorescente existente en ese momento para el revelado de huellas dactilares. El reactivo se utiliza ahora ampliamente en secuencia con ninhidrina para revelar huellas dactilares en superficies porosas (Herrero 2010).

3.2.2.2 Cianocrilato.

El adhesivo comercial líquido, súper pegamento (*super glue*, según la terminología en inglés), se desarrolló de forma inadvertida en la década de 1950 por investigadores que estaban tratando de desarrollar un polímero acrílico para la industria aeronáutica. A finales de 1970, investigadores de Japón y el Reino Unido descubrieron casi al mismo tiempo las capacidades de revelado de huellas dactilares latentes de los vapores del adhesivo líquido. La extracción con CA es una técnica de desarrollo versátil y eficaz en todas las superficies prácticamente no porosas, incluyendo vidrio, metal, papeles recubiertos y todas las formas de plásticos. El método es particularmente eficaz en superficies rugosas donde es difícil aplicar otro tipo de reveladores.

Los vapores de CA son extremadamente sensibles a los residuos de la huella dactilar, adaptables a muchas situaciones diferentes en la escena del crimen y en laboratorio, y son relativamente baratos de emplear (Casillas Arias 2016).

Tabla VII. Tipos de revelado de huellas latentes (Casillas Arias 2016)

Tipo de superficie	Reactivo	Mecanismo	Color de la cresta
Porosa	Ninhidrina	Reacciona con los aminoácidos	Violeta
	1,8 Diazfuoren 9 – uno, DFO		Rosa
	AgNO ₃	Reacciona con los Cl-	Marrón
	I ₂ (g)	Reacciona con los componentes grasos	
No porosa	Polvo magnético y no magnético	Adherencia a los componentes del sudor	Varía en función del producto
	Cianocrilato	Polimerización bajo las crestas	Blanco
	Colorante de cianocrilato (Ardos, Rodamina 6 g, Amarillo 40)	Adherencia al cianocrilato	Violeta a la luz UV (254 nm)
	Reactivo de partículas pequeñas	Adherencia a los componentes grasos	Blanco o negro
Cintas adhesivas	Violeta de genciana	Adherencia a los componentes grasos	Violeta
Huellas contaminadas con sangre	Amido black	Reacciona con los aminoácidos	Azul negro

3.3 Traslado de muestras e irradiación. Ensayos NAYADE.

Siguiendo los procedimientos normalizados para la manipulación y traslado de las muestras forenses convencionales, desde los laboratorios de la Guardia Civil las muestras son trasladadas al CIEMAT, donde se hace entrega de las mismas y se certifica su recepción rellenando los apartados correspondientes del documento de cadena de custodia.

Para realizar el estudio de estabilidad de las muestras de ADN, sangre y huellas dactilares frente a la radiación, se utilizó la instalación de irradiación NAYADE del CIEMAT que permite controlar tanto la dosis total absorbida como la tasa de dosis aplicada de manera homogénea a las muestras.

La Unidad de Irradiación Náyade es una instalación radiactiva (IR-06) tipo piscina, que permite someter a los materiales a los efectos de la radiación emitida por el isótopo ⁶⁰Co (período de semidesintegración = 5.27 años) (Figura 36). Su dotación radiactiva es en la actualidad de 423 TBq, distribuidos en 72 fuentes potencialmente configurables en disposiciones diversas, ubicadas en el fondo de una piscina de sección cuadrada de 1.2 m de lado y una profundidad de 4.20 m que emplea agua como escudo biológico.

Los experimentos se realizaron en las condiciones ambientales siguientes: temperatura de 298 K, atmósfera seca y a presión atmosférica. Las tasas de dosis a las que fueron sometidas cada una de las muestras era función de los tiempos de exposición necesarios para alcanzar las dosis absorbidas deseadas de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy, pudiendo variar desde minutos a horas. Las muestras (evidencias forenses) fueron irradiadas en sucesivas etapas, situándolas dentro de un autoclave que aseguraba la ausencia de contacto con el agua de la piscina, y que se colocaba en el centro de un cilindro en el cual se disponían alrededor las fuentes de ⁶⁰Co con

una disposición simétrica (ver Figura 37 y Figura 38), que permite asegurar que la irradiación de las muestras forenses es homogénea, con independencia de la tasa dosis y/o de la dosis total absorbida.

Antes de irradiar las muestras fue necesario determinar qué nivel de tasa de dosis (es decir, configuración de las fuentes encapsuladas) permitía alcanzar los niveles de irradiación deseados en tiempos que fueran compatibles con el calendario laboral de la instalación, siendo el valor seleccionado de tasa de dosis $20.314 \text{ kGy} \cdot \text{h}^{-1}$. Como paso previo a la irradiación de las evidencias forenses se comprobó la tasa de dosis que recibían las muestras en función de cada una de las disposiciones de las fuentes mediante la utilización del procedimiento de dosimetría Fricke (Fricke and Hart 1966). A partir de estos valores se determinó cuáles eran los tiempos de irradiación necesarios para alcanzar los valores de dosis absorbida seleccionados en esta investigación. Dichos valores se encuentran recopilados en la Tabla VIII y la Figura 39. Esta última figura muestra en escala semilogarítmica los tiempos de irradiación necesarios para cada uno de los grupos de muestras forenses.

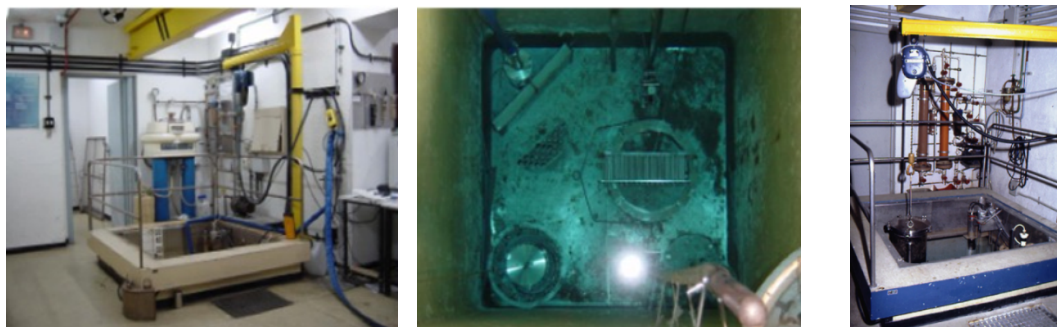


Figura 36. Instalación radiactiva del CIEMAT – Nayade. Imagen de la izquierda muestra el laboratorio de la IR-06. Imagen central muestra el puente grúa utilizado para la manipulación del reactor con las muestras. Imagen de la derecha visión cenital de los reactores y las fuentes encapsuladas.

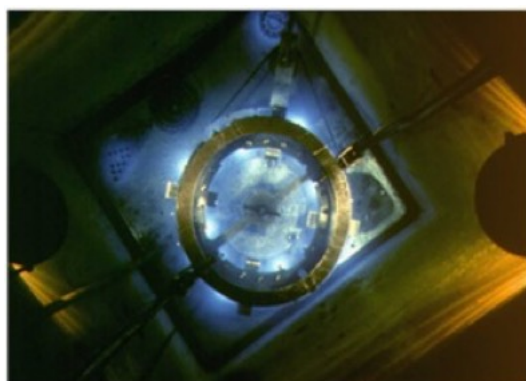


Figura 37. Imagen cenital del irradiador Náyade



Figura 38. Autoclave para introducción en el irradiador y sistema de colocación de fuentes

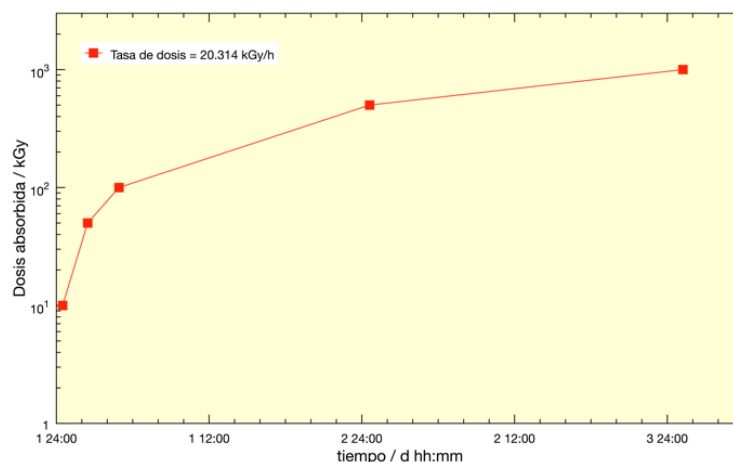


Figura 39. Dosis absorbidas por las muestras en las distintas etapas de irradiación.

Tabla VIII. Resumen de las dosis absorbidas en cada etapa de irradiación de las evidencias forenses a un valor de tasa de dosis constante.

Irradiación	1	2	3	4	5
Tasa de dosis (kGy·h)	20.314				
Dosis (kGy)	10	50	100	500	1000

Es importante mencionar que, como se ha descrito ya en el punto 2.5, en base a la revisión del estado del arte de la influencia de la radiación sobre las evidencias forenses (Colella, y otros 2009) (Holmes-Siedle y Adams 2002) (Ramotowski y Regen 2005) (Ramotowski, S y Regen 2007) (Razskazovskiy, Debiye y Bernhard 2000) (Goodwin 2013), cómo de los procesos de radiólisis (Quiñones, Merino, y otros 2003), se seleccionaron valores de dosis absorbidas ≥ 10 kGy, en el intervalo entre 10 kGy y 1 MGy, ya que de acuerdo con la documentación consultada por debajo de 1 kGy no existe prueba alguna de la existencia de efectos producidos por las radiaciones ionizantes en evidencias forenses (es decir, ADN o huellas dactilares).

Es importante subrayar que en el análisis de riesgos de un ataque terrorista NRBQ, el ^{60}Co es uno de los isótopos (fuentes radiactivas) con más probabilidades de ser empleado, debido a su facilidad de obtención por el gran número de equipos que lo emplean en sus distintas aplicaciones en el ámbito industrial, su tiempo de semidesintegración moderado, su facilidad de transporte y la posibilidad de ser dispersado como metralla a través de un RDD. Podría incluso emplearse como un RED dada su alta actividad. Otra característica a evaluar es la alta penetrabilidad de la radiación gamma, lo cual supone un riesgo elevado para la población expuesta. Sin embargo, al ser una fuente en la forma de metal, su dispersión no supone riesgo apreciable de exposición interna (vía ingestión o inhalación) (Goodwin 2013).

Como se ha comentado con anterioridad, toda la experimentación siguió los procedimientos de tratamiento de evidencias forenses empleados por la Guardia Civil, por lo que una vez irradiadas las muestras, y siguiendo el procedimiento de cadena de custodia de muestras, estas son recogidas en el CIEMAT por agentes de la Unidad Técnica NRBQ de la Guardia Civil y trasladadas a sus dependencias en Valdemoro, Madrid. Es de señalar que en concordancia con lo establecido en la reglamentación vigente para el transporte de material radiactivo o sometido a irradiación, el Servicio de Protección Radiológica del CIEMAT chequeó las muestras para comprobar la ausencia de radiación y de contaminación en las mismas. Al llegar las evidencias irradiadas a las instalaciones de la Guardia Civil se comprobó nuevamente la ausencia de tasa de

dosis o de contaminación superficial y que su manejo o manipulación era inocuo, según indica su propio protocolo de actuación. Esta es una comprobación esencial, toda vez que determinará si las muestras pueden ser llevadas al laboratorio de la Guardia Civil, ya que éste carece de medidas de protección necesarias para tratar con material radiante o contaminado⁴⁹. También determinaría, en su caso, el tipo de equipo de protección individual que deberían vestir los técnicos para la manipulación de las muestras.

Efectuada esta revisión, con resultado negativo, se rellena la documentación de la cadena de custodia y se procede a su entrega en el registro del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil en Madrid. Como ocurre con cualquier caso real, en este registro se clasifican los indicios en base a qué departamento deberá hacerse cargo de los mismos, en esta ocasión el laboratorio de biología y el departamento de identificación, y se le asigna un nivel de prioridad para ser analizado.

Una vez en el laboratorio, se procede al estudio de la muestra y a la emisión del correspondiente informe, el cual será entregado a la unidad responsable de la investigación para su presentación ante el juez. En este caso, el informe fue entregado al autor (se adjunta en anexo) y son las medidas que sirven de base para la elaboración y discusión de resultados en esta memoria de investigación.

⁴⁹ Queda pendiente para posteriores estudios comprobar si las muestras de ADN, por su reducido tamaño, tendrían la consideración de exentas y podrían manipularse en el laboratorio de la Guardia Civil.

4. Resultados y discusión

4.1 Resistencia del ADN a la radiación ionizante.

Está perfectamente probado que las radiaciones ionizantes producen daños en el ADN, tales como reordenación de cromosomas o mutaciones que incluso pueden hacerse hereditarias. En concreto se han identificado roturas de enlaces cuando la radiación atraviesa la molécula de ADN, y alteraciones químicas en la estructura del nucleótido (F. Hutchinson 1985) (Goodwin 2013).

Sin embargo no están totalmente documentados los umbrales de degradación de una muestra de ADN que impiden su identificación con la metodología de análisis forense expuesta en esta memoria. Este trabajo se planteó con el objetivo de intentar determinar dichos umbrales a partir de un estudio experimental consistente en la irradiación de un conjunto de evidencias idénticas de ADN a diferentes niveles de dosis absorbida, para posteriormente analizar esas muestras, comprobar su resistencia a los campos de irradiación y, lo que constituye el núcleo fundamental de este trabajo, comprobar si mantienen sus características de forma que permitan identificar a su propietario.

Como ya se ha descrito, se prepararon, irradiaron y analizaron distintos grupos de muestras de ADN que pueden aparecer en un escenario (saliva, sangre y células retenidas en tapones y llaves; ver apartado 3.1.1) al objeto de poder determinar qué evidencias forenses presentan una mayor resistencia a la irradiación, sobre el estudio de los electroferogramas obtenidos de cada una de las muestras en comparación con el de referencia.

4.1.1 Electroferograma de referencia.

Para establecer el electroferograma de referencia se decidió utilizar como sujeto del estudio al propio autor de este trabajo de investigación, para lo que se siguió el procedimiento establecido por la Guardia Civil para definir el ADN de referencia de un determinado individuo. Los resultados obtenidos servirán para comprobar la existencia o no de modificaciones en las cadenas detectadas y por ende la validez forense de la prueba sometida a un determinado nivel de irradiación.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis del perfil de referencia (Figura 40) se establecen los puntos que servirán para la determinación de la existencia de alteraciones debidas a la radiación y/o si la evidencia con el grado de irradiación mantiene o no la capacidad de identificación. En la Tabla IX se recopilan para cada uno de los STR los alelos que identifican al individuo. En aquellos STR en los que tan solo aparece un número significa que ambos alelos son iguales (por ejemplo, D21S11: el par de alelos sería 29/29, por lo que tan solo se refleja 29).

Además en la Tabla IX se incluye la probabilidad de poseer ese genotipo para cada uno de los STR, basándose en los datos de frecuencia de los alelos para la población mundial de la base de datos ENSFI (STRIDER 2019).

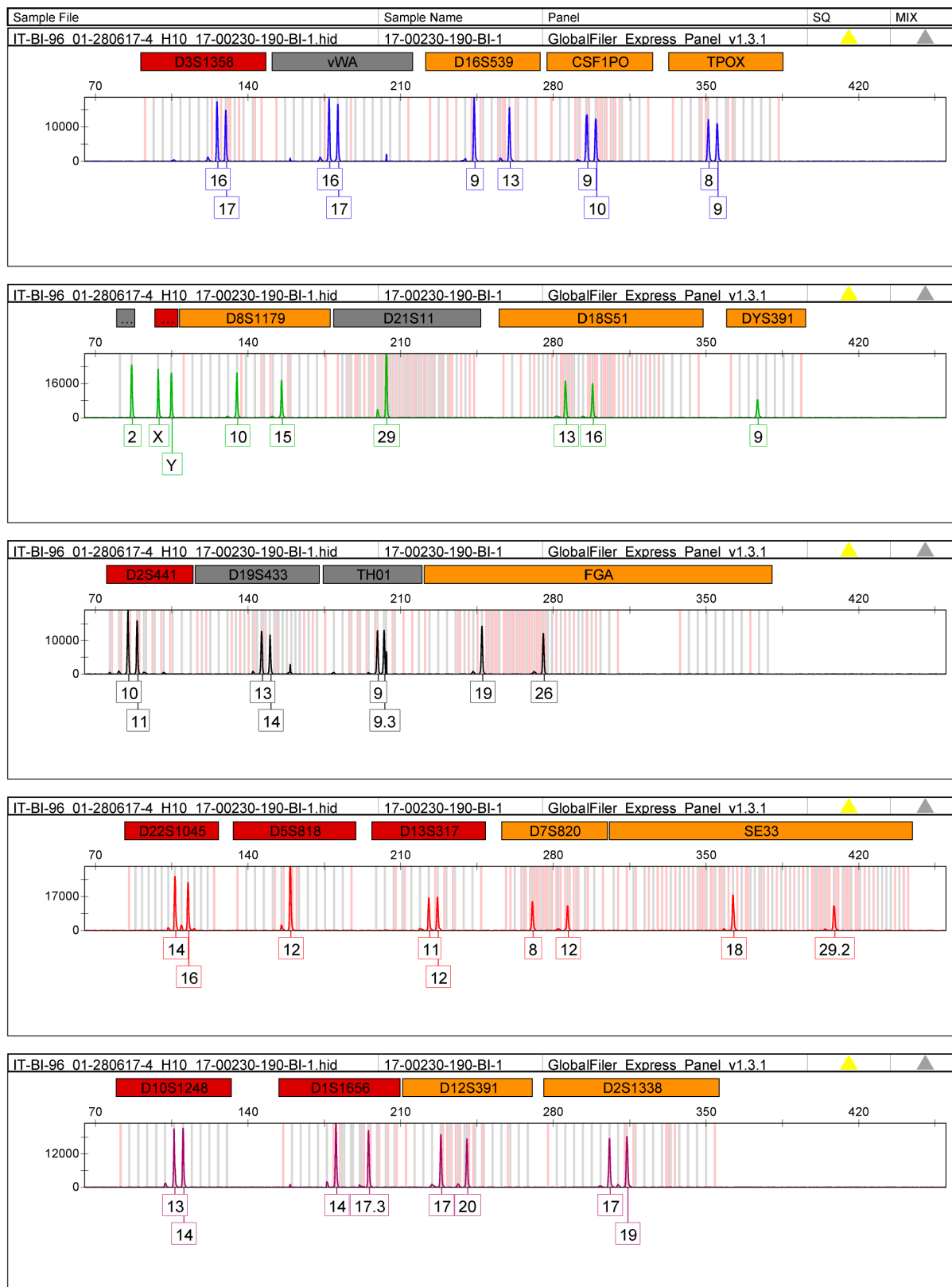


Figura 40. Electroferograma del ADN de referencia. Muestra de ADN sin irradiar.

Tabla IX. Resumen de picos que se obtienen en el electroferograma del ADN de referencia (Figura 40) y frecuencias de los alelos de la base de datos ENFSI (STRIDER 2019), revisada y actualizada por la Guardia Civil. Fuente Laboratorio de Biología de la Guardia Civil.

Locus	D13S317	D7S820	D16S539	THO1	TPOX	CSF1PO	AMEL
Genotipo	11 12	8 12	9 13	9 9,3	8 9	9 10	X Y
Probabilidad de genotipo	0.1714	0.0463	0.0403	0.1009	0.1026	0.0120	0.5
Locus	D3S1358	VWA	FGA	D8S1179	D21S11	D18S51	D5S818
Genotipo	16 17	16 17	19 26	10 15	29	13 16	12
Probabilidad de genotipo	0.0970	0.1294	0.0043	0.0169	0.0439	0.0342	0.1419
Locus	Y-indel	DYS391	D2S441	D19S433	D22S1045	SE33	D10S1248
Genotipo	2	9	10 11	13 14	14 16	18 29.2	13 14
Probabilidad de genotipo			0.1140	0.1711	0.0226	0.0199	0.1749
Locus	D1S1656	D12S391	D2S1338				
Genotipo	14 17.3	17 20	17 19				
Probabilidad de genotipo	0.0234	0.0173	0.0542				

Una vez obtenido el perfil genético de un individuo, el primer resultado que presenta es “excluyente” o “no-excluyente”. Si existe al menos un marcador diferente entre la muestra indubitada y la de comparación, se concluye que el ADN no pertenece a la misma persona. Queda por tanto “excluido”. En el caso de coincidencia, “no-excluyente”, se debe determinar hasta qué punto es probable que ambas muestras pertenezcan a un único donante. El objetivo de este trabajo de investigación es determinar si la evidencia irradiada mantiene su capacidad de prueba judicial, para ello se debe poder contestar a la pregunta siguiente: ¿cuál es la probabilidad de que esta muestra pertenezca a un individuo concreto?. La respuesta se basa en considerar, al menos, dos hipótesis alternativas para demostrar su valor, es decir, la prueba forense debe evaluarse calculando su probabilidad cuando se dan por ciertas cada una de las 2 hipótesis alternativas, que en este caso serían las siguientes:

- I. Hipótesis H_0 : la muestra pertenece al donante, es decir es, cumple con los requisitos de tener 9 picos del electroferograma más la amelogenina coincidentes con los de la Figura 40 y la Tabla IX.
- II. Hipótesis H_1 : la muestra pertenece a un individuo al azar de la población.

Tabla X. Frecuencias determinadas para los loci de cada uno de los 24 STR en la población (García, Alonso, y otros, Corrigendum to Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain 2014) (García, Alonso, y otros, Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain 2012).

Alaio	D6S1779	D21S11	D7S820	C6S170	D5S156	TH01	D13S17	D16S19	D2S133	D18S43	VWA	TPOX	D18S51	D5S918	FGA	D10S1248	D1S1656	D22S1045	D2S441	D12S991	SE33
7			0.0229	0.0018		0.2588 0.1796						0.0018 0.0018									
7.3																					0.0018
8	0.0194		0.1408	0.0053		0.0986	0.1426	0.0229				0.4859		0.0088							
9	0.0158		0.1408	0.0229		0.1937	0.0634	0.1021				0.1056		0.0211			0.0018		0.0018		
9.1			0.0018																		
9.3						0.2606 0.0088	0.0493	0.0440		0.0018		0.0915	0.0070	0.0757			0.0018		0.1761		
10	0.0739		0.2835	0.2623			0.3061	0.3028		0.0070		0.2676	0.0088	0.3310			0.0035	0.0563	0.0951	0.3239	0.0035
11	0.0880		0.2095	0.3011	0.0018																0.0018
11.3																			0.0898		
12	0.1285		0.1514	0.3151	0.0018		0.2782	0.3063		0.0951		0.0440	0.1673	0.3768			0.0511	0.1479	0.0088	0.0211	0.0070
12.1																					0.0018
12.2										0.0018											
12.3																			0.0018		
13	0.2852		0.0405	0.0775	0.0018		0.1092	0.1972		0.2518	0.0106	0.0018	0.1215	0.1743			0.3081	0.0528	0.0035	0.0246	0.0035
13.2										0.0123											0.0035
14	0.2482		0.0088	0.0141	0.1127		0.0493	0.0246		0.3398	0.1285		0.1637	0.0123			0.2835	0.1109	0.0299	0.3134	0.0387
14.2										0.0352											0.0035
15	0.1144				0.2394					0.1461	0.1303		0.1708				0.2060	0.1673	0.4049	0.0440	0.0511
15.2										0.0511											0.0493 0.0018
15.3																	0.0581				
16	0.0229				0.2553				0.0739	0.0440	0.2588		0.1408				0.1250	0.1250	0.3785	0.0035	0.0387
16.2										0.0088											0.0529 0.0018
16.3																	0.0616				0.0035
17	0.0018				0.1901				0.2447	0.0035	0.2500		0.0968		0.0018	0.0194	0.0405	0.0757		0.0810	0.1022
17.1																	0.0018				
17.2										0.0018											0.0018
17.3																	0.1056			0.0246	0.0018
18	0.0018				0.1937				0.0634		0.1496		0.0335		0.0106	0.0035	0.0018	0.0035		0.1866	0.0740
18.3																	0.0651			0.0335	
19					0.0035				0.1109		0.0581		0.0440		0.0951					0.1162	0.0511
19.2															0.0018						
19.3																	0.0018			0.0246	
20									0.1761		0.0141		0.0264		0.1285					0.1074	0.0475
20.2																					0.0088
21									0.0282				0.0123		0.1602					0.0951	0.0405
21.2																					0.0158
22									0.0194				0.0053		0.1919					0.0986	0.0123
22.2															0.0053						0.0317
23									0.0845						0.1496					0.0933	0.0018
23.2															0.0018						0.0264
24									0.1004				0.0018		0.1408					0.0282	
24.2		0.0035													0.0018						0.0405
25		0.0018							0.0845						0.0827					0.0176	
25.2		0.0035																			0.0264
26									0.0141						0.0229					0.0018	
26.2															0.0018						0.0352
27		0.0282													0.0035					0.0018	
27.2																					0.0563
28		0.1056																			
28.2																					0.0651
29		0.2095																			0.0810
29.2																					
30		0.2764																			0.0423
30.2		0.0352																			
31		0.0616																			0.0282
31.2		0.1109																			
32		0.0141																			0.0141
32.2		0.1127																			0.0070
33																					0.0088
33.2		0.0335																			0.0018
34																					0.0035
34.2		0.0018																			
35.2		0.0018																			

A continuación, se procede a calcular la probabilidad de obtener ese perfil genético para la muestra bajo la hipótesis H_0 , y bajo la hipótesis H_1 . La valoración más correcta consiste en, mediante la aplicación del teorema de Bayes, calcular la razón de verosimilitud o LR («Likelihood Ratio») que es el cociente entre ambas probabilidades. El resultado obtenido refleja cuántas veces la coincidencia de perfiles es más probable si consideramos la hipótesis H_0 , que si se considera la hipótesis H_1 ⁵⁰. Para mejor comprensión del lector empecemos por recordar cual es el teorema de Bayes, en su acepción más común es:

$$P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A)$$

<1>

⁵⁰ Existen bases de datos configuradas para determinar automáticamente la LR. En Europa se emplea la ENFSI DNA WG STR population database. El dato de la LR presentado en este trabajo ha sido calculado por el personal experto del laboratorio de biología de la Guardia Civil.

Siendo:

- $P(A)$, la probabilidad de que ocurra un evento A
- $P(B)$, la probabilidad de que ocurra un evento B
- $P(A|B)$. Probabilidad de que ocurra el evento A, sabiendo que ha ocurrido el evento B. Se lee como probabilidad condicionada de A respecto a B
- $P(B|A)$ Probabilidad de que ocurra el evento B, sabiendo que ha ocurrido el evento A. Es decir, probabilidad de B condicionada a A.

Dicha noción de probabilidad condicionada permite tener en cuenta en la evaluación la existencia de eventos relacionados entre sí. La aplicación de este teorema para el caso de reconocimientos de ADN desde el punto de vista forense ha sido muy estudiado por la comunidad científica (Ayres y Nalebuff 2015) (Fenton, Nell y Berger 2016).

Empleando la frecuencia de los alelos de cada uno de los STR, en función de la base de datos ENFSI (STRIDER 2019) se puede calcular la probabilidad de que exista un individuo con el mismo genoma:

$$P(\varsigma) = P(D16S539) \cdot P(TH01) \cdot P(D3S1358) \cdot P(VWA) \dots = 7.96 \cdot 10^{-20} \quad <2>$$

Luego la probabilidad de encontrar a alguien con un ADN igual es de $7.96 \cdot 10^{-20}$, es decir 1 entre cada $1.26 \cdot 10^{19}$ personas (sensiblemente superior a la población mundial, $\approx 7.6 \cdot 10^9$ (Naciones Unidas 2017)), pero si se estudia la probabilidad de que tenga 9 picos más la amelogenina, la probabilidad varía en el intervalo entre $4.3 \cdot 10^{-15}$ - $1.94 \cdot 10^{-9}$, lo que equivaldría a 1 persona cada $5.15 \cdot 10^8$ - $2.3 \cdot 10^{14}$ personas, respectivamente. Por otro lado, si se utilizan los valores que se emplean por los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado español, (ver Tabla IX) los valores que se obtienen al considerar sólo España en lugar de la población mundial se obtiene para el perfil genético de referencia un LR de $6.7 \cdot 10^{27}$. Hecho que da un grado elevado de validez a la prueba desde el punto de vista judicial.

4.1.2 Evidencias de sangre.

En este apartado se van a presentar y discutir los resultados obtenidos en evidencias irradiadas de sangre, las cuales son muestras con un elevado contenido en ADN (Butler, Forensic DNA typing 2005)(Tabla V). Como se comentó en el apartado 3.3 de manera detallada, una vez extraídas las muestras y referenciadas convenientemente en los laboratorios de la Guardia Civil se procede a su traslado al CIEMAT, siguiendo el procedimiento de cadena de custodia, para su irradiación hasta alcanzar los niveles definidos en este estudio (Tabla XI).

Tras ser recibidas en los laboratorios de la Guardia Civil, y utilizando los procedimientos protocolizados del Cuerpo, se realiza el estudio del ADN, es decir, se determinan los correspondientes electroferogramas para su posterior estudio comparativo de los resultados obtenidos con la base de datos existente en los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado. Este proceso exige la evaluación de un número elevado de datos (resultados obtenidos del análisis, interpretación y comparación con las bases de datos) por lo que de manera estándar se realiza empleando un software de genotipado automático, capaz de identificar los picos obtenidos en el electroferograma y compararlos con los datos existentes en las bases de datos especializadas.

A tal efecto, y para comprobar la validez forense de las muestras y la resistencia a la radiación, el ADN de referencia se incluyó en dicha base de datos, con lo que la comparación podrá aportar positivos de identificación.

Tabla XI. Dosis recibida por muestra de sangre.

Tipo muestra	referencia	muestra	tipo	Dosis / kGy
Sangre	17/07369/001	17/07369/001/BI/1	Hisopo impregnado	10
		17/07369/001/BI/2		
	17/07369/002	17/07369/002/BI/1	Hisopo impregnado	50
		17/07369/002/BI/2		
	17/07369/003	17/07369/003/BI/1	Hisopo impregnado	100
		17/07369/003/BI/2		
	17/07369/004	17/07369/004/BI/1	Hisopo impregnado	500
		17/07369/004/BI/2		
	17/07369/005	17/07369/005/BI/1	Hisopo impregnado	1000
		17/07369/005/BI/2		

Si bien se realizaron varias series de evidencias con los mismos niveles de irradiación, al obtenerse patrones similares no se ha considerado oportuna su repetición (ni en este ni en los apartados siguientes) y la discusión de los resultados obtenidos se hará en función de los resultados mostrados.

Algunos de los electroferogramas obtenidos del análisis de las muestras irradiadas se muestran a continuación en la Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45, que corresponden con evidencias irradiadas hasta niveles de dosis de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy, respectivamente. Es importante resaltar que para valores de 1 MGy \geq 1000 kGy (Figura 45) no se obtuvo perfil alguno de ADN en las distintas muestras analizadas, hecho que coincide con las experiencias previas publicadas en la bibliografía (Monson, y otros 2018).

La primera conclusión extraída de la comparación de los electroferogramas es que en ningún caso aparecen nuevos alelos, lo que provocaría falsos resultados de exclusión de la muestra al compararla con la indubitada.

Un posterior análisis comparativo de los electroferogramas entre sí, revela claramente que en función del incremento de la dosis absorbida se produce la desaparición de ciertos picos, correspondientes a los alelos de los STR, hasta llegar a la muestra irradiada hasta 1000 kGy, donde se produce la desaparición de una gran cantidad de alelos (ver Figura 45).

A modo de ejemplo y para poder realizar un estudio comparativo, en la Figura 46 se muestra cómo la dosis absorbida tiene un claro efecto en los picos de los alelos obtenidos para los 5 primeros STR (es decir: D3S1358, vWA, D16S539, CSF1PO y TPOX). Los electroferogramas de la Figura 46 están ordenados en función del incremento de dosis absorbida, es decir y por este orden: 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy. Como se puede observar, con el incremento de la dosis se produce una disminución en la intensidad de los picos detectados hasta alcanzar la total desaparición de los mismos.

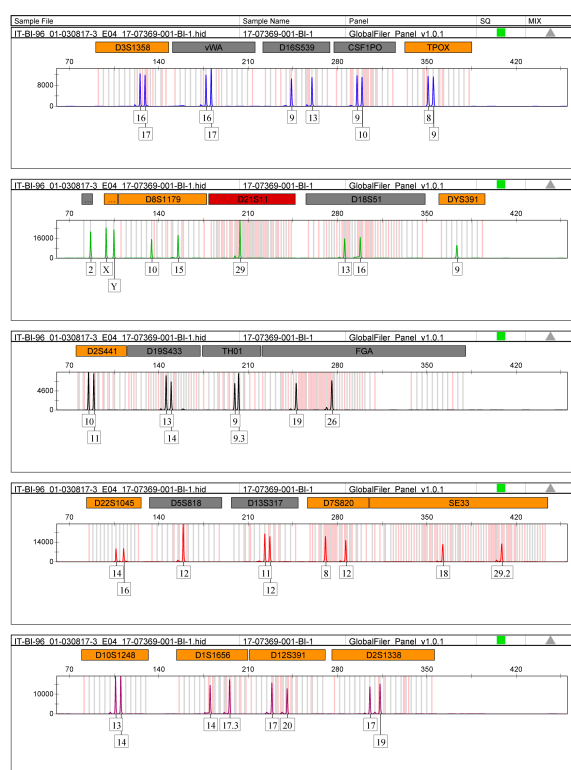


Figura 41. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy

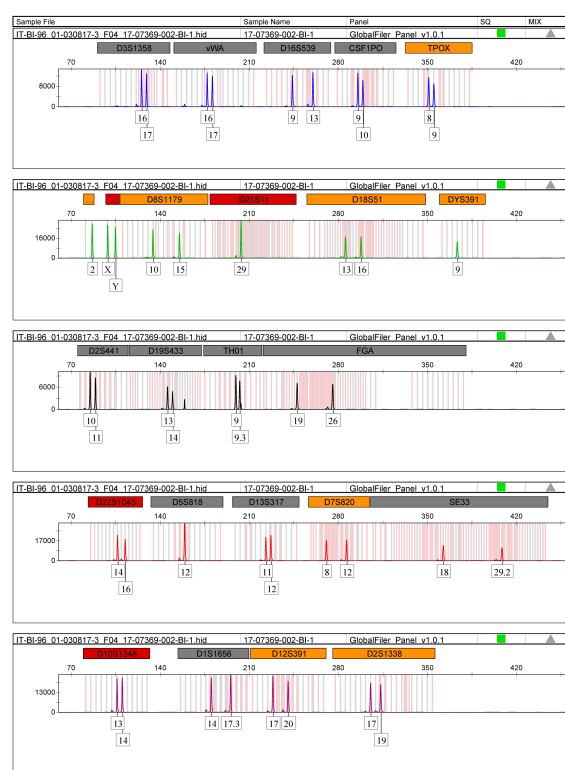


Figura 42. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy

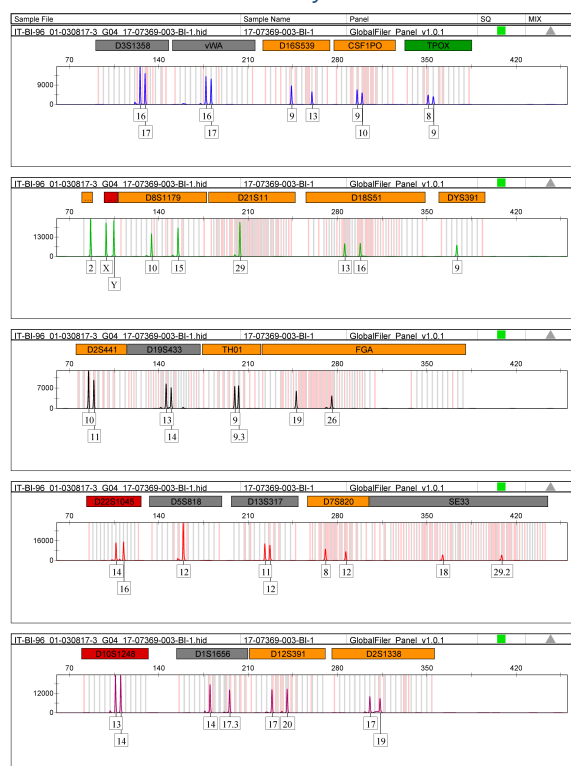


Figura 43. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy

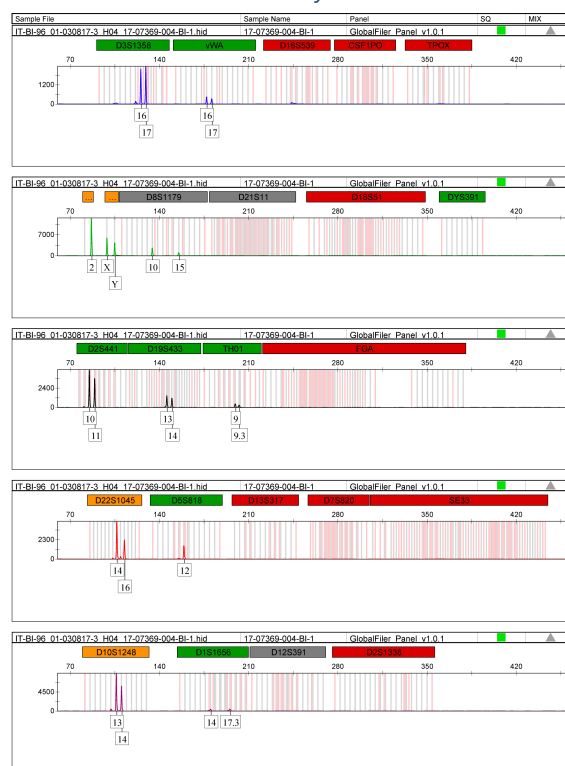


Figura 44. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy

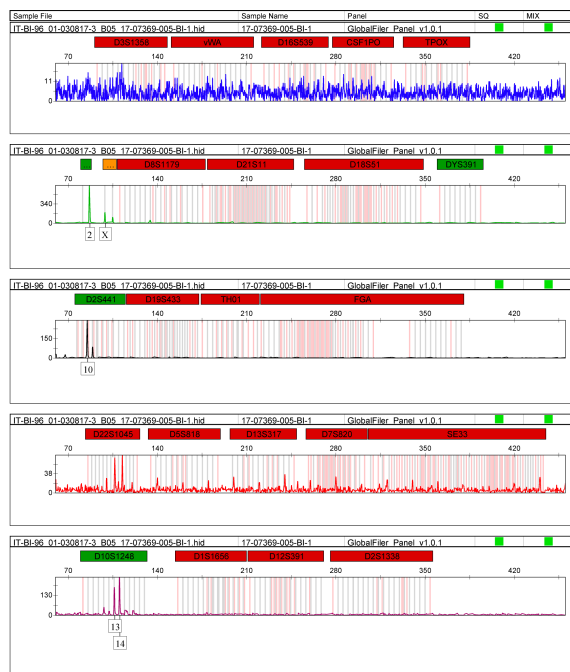


Figura 45. Electroferograma de una evidencia de ADN (sangre, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy

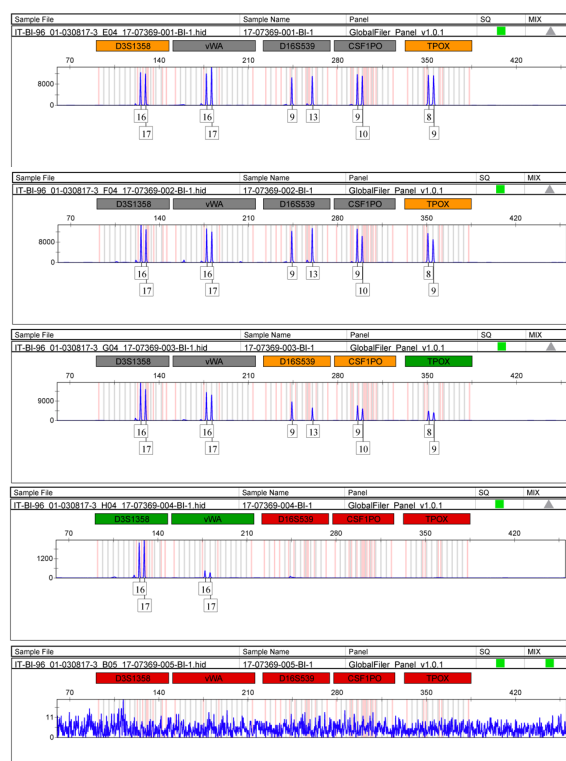


Figura 46. Evolución de los 5 primeros STR (en sangre) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45, respectivamente)

Los resultados obtenidos de las evidencias irradiadas a 10, 50 y 100 kGy continúan permitiendo la identificación indubitada, ya que se distinguen perfectamente los alelos de cada STR. Por su parte aquellas con mayores dosis absorbidas, 500 kGy y 1 MGy, presentan una fuerte reducción de los picos de intensidad de los marcadores STR, esto es, las muestras analizadas contenían una concentración de ADN menor, pudiendo solo identificarse a 500 kGy los dos primeros marcadores, lo que significa que las señales correspondientes a los otros 3 marcadores cuando la dosis es de 500 kGy y a los 5 cuando alcanza los 1000 kGy están por debajo de los límites de detección técnica, no pudiendo obtenerse resultados con validez forense de identificación.

En estos cinco primeros marcadores prácticamente no se aprecian diferencias entre las dos primeras secuencias, irradiadas hasta 10 y 50 kGy respectivamente (Figura 46). Sin embargo, cuando se incrementa la dosis absorbida hasta 100 kGy, sí se constata un descenso en la calidad de los marcadores de los alelos, y en el caso de alcanzar los 500 kGy, desaparecen los alelos correspondientes a los marcadores CSF1PO, D16S39 y TPOX. Dicha desaparición se hace absoluta cuando se aumenta la dosis hasta 1 MGy.

El siguiente paso a realizar, enmarcado dentro de los objetivos de este trabajo de investigación, es determinar si dichas evidencias pierden su validez de identificación desde el punto de vista forense. Para resolver esta cuestión, siguiendo los procedimientos, métodos de análisis, programas y bases de datos de la Guardia Civil, se realizó una evaluación de los electroferogramas obtenidos en este trabajo (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura

45) y se cotejó con los datos existentes en la base de datos. Los resultados obtenidos de la evaluación de los electroferogramas completos, y de igual manera a como la Guardia Civil presenta los resultados de los análisis forenses ante la autoridad judicial, se representan en un mapa de color para facilitar las conclusiones del trabajo de manera visual. En la Tabla XII el nombre de los marcadores genéticos analizados aparece en la cabecera de cada columna, mientras que la identificación de cada muestra aparece en cada fila. De esta manera, el gráfico permite evaluar de forma rápida cuáles son los marcadores cuyos resultados han sido detectados (en color verde), los que no se registran datos (rojo) y aquellos con resultados con divergencias si hay elementos contaminantes (amarillo) y si se ha perdido un alelo (violeta).

Tabla XII. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN en sangre.

Ref. muestras	D3S1358	VWA	D16S539	CSF1PO	TPOX	D8S1179	D21S11	D18S51	DY6391	D2S441	D19S433	TH01	FGA	D22S1045	D5S818	D13S317	D7S820	SE33	D10S1248	D1S1656	D12S391	D2S1338	Dosis / kGy
17/07369/001/BI/1																							10
17/07369/001/BI/2																							10
17/07369/002/BI/1																							50
17/07369/002/BI/2																							50
17/07369/003/BI/1																							100
17/07369/003/BI/2																							100
17/07369/004/BI/1																							500
17/07369/004/BI/2																							500
17/07369/005/BI/1																							1000
17/07369/005/BI/2																							1000

■ Marcador correcto
 ■ Falta marcador
 ■ Adición de artefacto
 ■ Pérdida de alelo

La Tabla XII muestra los datos de la Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45 indicando cuándo aparecen señales de los alelos en cada uno de los STR considerados. Como se puede observar, todos los STR de la primera línea aparecen en color verde, indicando su corrección, sin embargo en la fila correspondiente a la muestra muestra de sangre 17/07369/005/BI/1 radiada a 1 MGy, (Figura 45), aparecen todos en rojo, con la excepción de los STR D2S441 que aparece en violeta por tener un único alelo, y el D10S1248 que aparece en verde por presentar los dos alelos.

A partir de estos datos (Tabla XII), y considerando que desde el punto de vista legal aceptado por la jurisprudencia en España, se considera concluyente una identificación cuando se presentan coincidencias en al menos 9 marcadores STR y la amelogenina, se puede afirmar que la integridad de las muestras de ADN en sangre tiene una dependencia directa con la dosis absorbida, como revelan los electroferogramas realizados a las evidencias de sangre irradiadas en este trabajo de investigación. Los resultados obtenidos se podrían clasificar en tres grupos en función de su capacidad de ser utilizados como evidencias concluyente en un proceso judicial considerando los resultados de los modelos de ADN y el nivel de identificación que aportan. Dicha clasificación se basa en el número de marcadores:

1. **Completa:** todos los marcadores identificados (24 marcadores y la amelogenina).
2. **Parcial:** con el mínimo de marcadores exigidos por la jurisprudencia (9 marcadores STR y la amelogenina).

3. Sin perfil o con perfil parcial: número de marcadores STR inferior a 9 y/o sin coincidir la amelogenina.

Las muestras definidas como “*completas*” o “*parciales*” son concluyentes para la identificación de una persona. En el caso objeto de estudio se habría producido una identificación positiva concluyente en todas las muestras con la excepción de las 17/07369/005/BI/ 1 y BI/2⁵¹. El estudio realizado permite concluir que el ADN en muestras de sangre se pierde su capacidad de identificar a su propietario, desde el punto de vista de una pericia judicial, cuando la dosis absorbida supera los 500 kGy

Por lo tanto y para su aplicación en el campo forense nuclear por las fuerzas y cuerpos de seguridad del estado, estos resultados tendrán que tenerse en cuenta a la hora de gestionar un hipotético escenario de un ataque NRBQ, ya que la misión de la policía judicial es conseguir evidencias que puedan tener un valor probatorio en un juicio. Por este motivo los agentes encargados de la recogida de evidencias no deben exponerse al riesgo radiológico que implica el trabajo en zonas radiológicamente contaminadas para recoger y analizar muestras de sangre si en una evaluación previa se considera que estas han alcanzado o superado una dosis absorbida de 1 MGy.

Una vez alcanzado el objetivo de determinar la influencia de la presencia de la radiación en la validez forense de las muestras irradiadas, el paso siguiente abordado es analizar cómo se produce la degradación del ADN en sangre en función de la dosis absorbida. Para ello se procedió al estudio de la variación de la intensidad de pico de cada uno de los STR. Es importante recordar que todas las evidencias partían de una cantidad similar de muestra, es decir, concentración de ADN similar y que el electroferograma se realizó empleando el procedimiento estandarizado de la Guardia Civil, lo que permite establecer una relación directamente proporcional entre la intensidad del pico medido para cada alelo con la concentración del mismo en la muestra.

A partir de los trabajos de Monson (Monson, y otros 2018), Abbondante (Abbondante 2009) y de Goodwin (Goodwin 2013), se ha establecido que bien debido a mecanismos de interacción directa como indirecta, se produce la alteración de la estructura del ADN por la radiación y por ende la reducción de su concentración en la muestra. Es de suponer que en función de la longitud de la cadena y del tipo de enlaces presentes habrá una mayor o menor inducción de defectos por radiólisis en la cadena del ADN⁵². Siguiendo esta metodología de comparación, es posible representar en una gráfica cómo para cada marcador STR varía la intensidad de cada uno de sus alelos en función del incremento en la dosis absorbida, lo que permitirá determinar la resistencia a la radiación ionizante del ADN contenido en la célula de sangre. En la Figura 47 se muestra, a partir de las intensidades de los picos de los alelos de cada STR, la evolución en función de la dosis absorbida. En el eje de ordenadas, en una escala idéntica para todas las figuras, se representa la intensidad de pico obtenida en el electroferograma, mientras que en eje de abscisas se representa la dosis absorbida por cada evidencia. La agrupación de los marcadores genéticos se realiza en base al colorante empleado en la electroforesis.

⁵¹ Para una descripción detallada de las muestras estudiadas así como los análisis realizados y los resultados obtenidos se adjunta como anexo a este trabajo el Informe de Ensayo número 17/07369-01/BI remitido por el Laboratorio de Biología del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil.

⁵² Rotura no selectiva de enlaces químicos en una molécula, por interacción de las radiaciones ionizantes con los átomos que la constituyen. Como consecuencia del efecto radiolítico pueden formarse radicales libres, otras moléculas distintas de la primitiva o variar la clase y número de los enlaces químicos de un material (Sociedad Nuclear Española 2019).

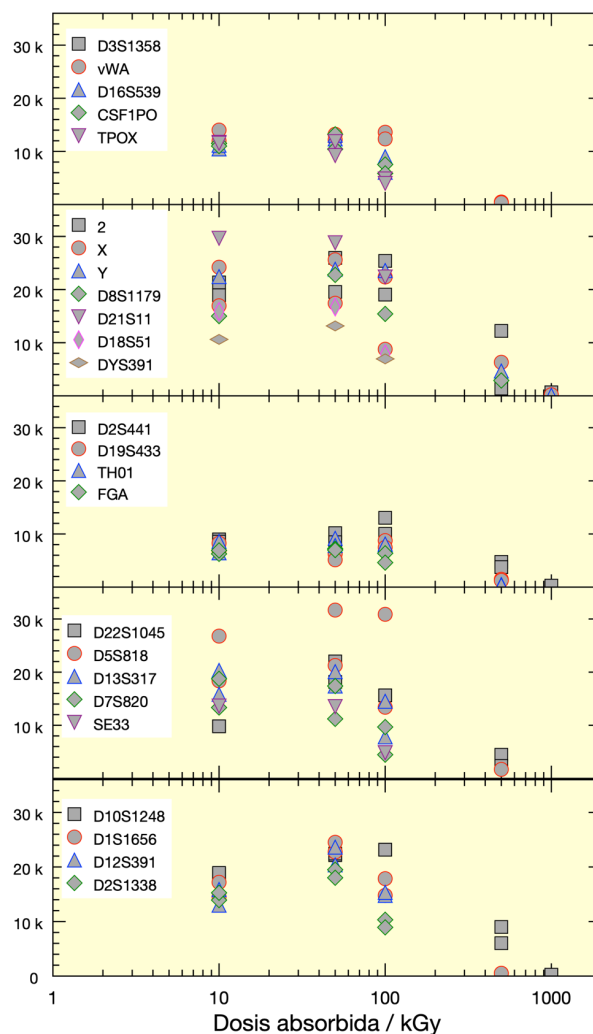


Figura 47. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de sangre.

Como se puede observar (Figura 47) los marcadores STR muestran el mismo modelo de comportamiento, es decir, se produce una disminución de la intensidad en función de la dosis absorbida. Una conclusión inmediata de este estudio de la radiación en células sanguíneas es que no todos los loci se ven afectados de igual manera por la radiación. Las STR CSF1PO, TPOX, D18S51, DYS391, D7S820, SE33 y D2S1338 se ven más afectadas y se degradan antes que las demás STR empleadas para la identificación. Esta situación parece reforzar la hipótesis de que los STR mayores sufren mayor degradación como consecuencia de la radiólisis.

En la Figura 48, correspondiente a la muestra de sangre 17-07369-004, radiada a 500 kGy, se puede apreciar claramente cómo los STR mayores, los ubicados a la derecha de la gráfica, desaparecen, mientras que los menores, con menos cantidad de pares de bases, siguen reflejando los alelos.

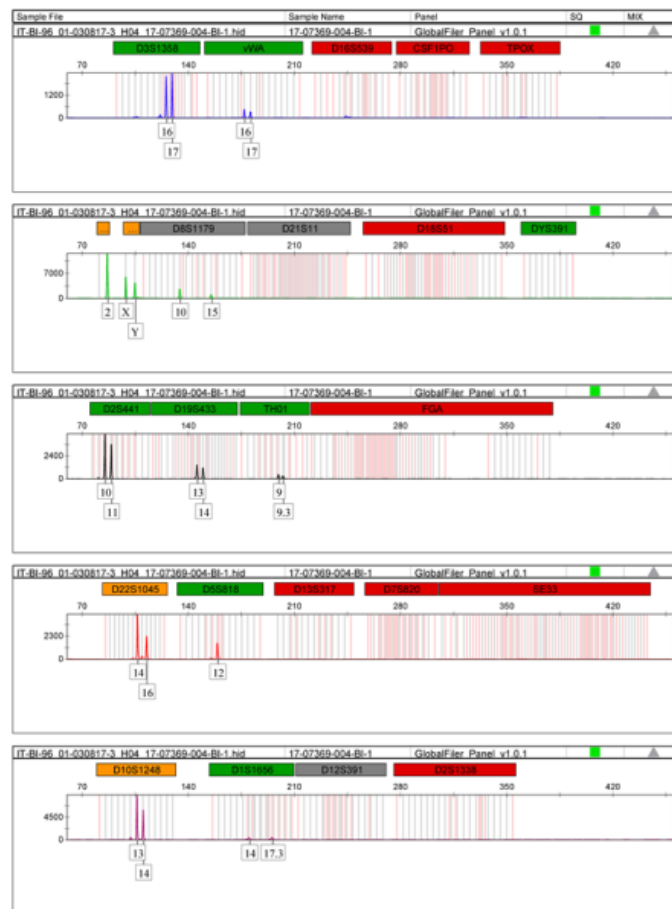


Figura 48. Electroferograma correspondiente a la muestra de sangre 17-07369-004-BI-1 radiada a 500 kGy.

Con el fin de ratificar los datos antes mencionados, se realiza un estudio comparativo de la influencia que tiene la radiación en la intensidad del pico medido en función de la longitud de la cadena (Figura 49) y en comparación con los picos obtenidos en el electroferograma de referencia (Figura 40)⁵³. En la Figura 49 se observa una clara disminución de la intensidad de cada pico a medida que aumenta la dosis. En el caso de las muestras irradiadas hasta valores inferiores a 100 kGy las diferencias son mínimas, produciéndose un efecto mayor para valores superiores a los 500 kGy. Si dichos resultados de intensidad se normalizan respecto de los obtenidos para cada uno de los alelos en el electroferograma de referencia, ver Figura 50, se constata mejor la existencia de procesos radiolíticos que producen directa o indirectamente la destrucción de la estructura del ADN.

⁵³ La figura se presenta en escala semilogarítmica al objeto de poder observar mejor la existencia de diferencias.

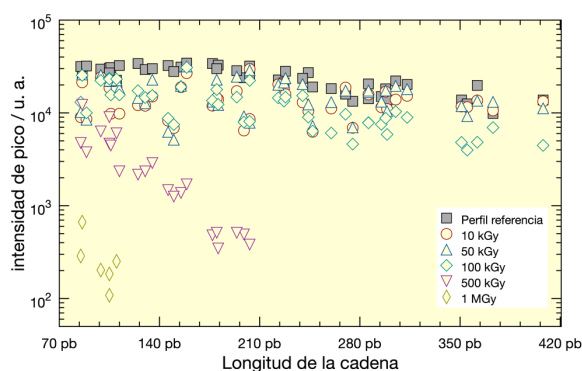


Figura 49. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de sangre.

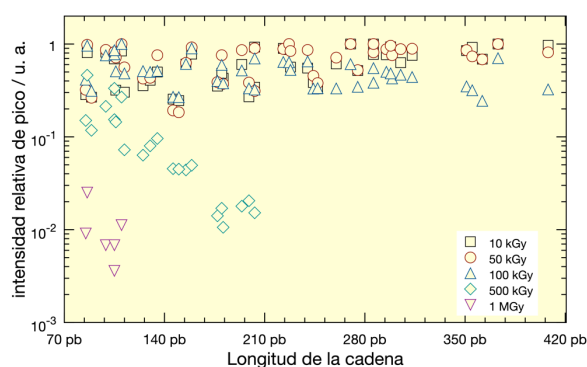


Figura 50. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de sangre.

De los datos obtenidos en este trabajo de investigación se constata que para el caso de evidencias de sangre la radiación acumulada (dosis absorbida) produce la destrucción de la estructura del ADN como consecuencia de la actuación de mecanismos directos es decir, por la generación de daños en la estructura del ADN, como demuestra el hecho de que los STR con mayor número de pares de bases muestran una mayor disminución de la intensidad del pico para la misma dosis absorbida; o por mecanismos indirectos como la radiólisis del H_2O contenido en la sangre y la formación de radicales libres que interaccionan químicamente con el ADN produciendo su destrucción.

Además, se constató que cuando las evidencias alcanzan valores de dosis absorbidas de 500 kGy, empiezan a ver comprometida su capacidad de ser utilizada desde el punto de vista forense y judicial, y cuando la dosis alcanza 1 MGy el ADN pierde totalmente dicha capacidad de reconocimiento. De los resultados y su discusión presentados se demuestra que se ha alcanzado uno de los objetivos de la memoria.

4.1.3 Evidencias de saliva.

Con el objetivo de poder facilitar el estudio comparativo en función de la procedencia de la evidencia, en este apartado y los siguientes se seguirá la misma metodología de presentación y discusión de los resultados. Las muestras extraídas, catalogadas, irradiadas, analizadas y evaluadas son las que se describen en la Tabla XIII.

Una vez irradiadas las evidencias, fueron analizadas para obtener los electroferogramas de cada una ellas. En la Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55 se muestran los electroferogramas obtenidos de las evidencias irradiadas hasta valores de dosis absorbidas de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy, respectivamente.

El estudio conjunto de los resultados (Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55) vuelve a revelar la existencia de una dependencia de la señal obtenida con la dosis absorbida. Al igual que pudo apreciarse en el estudio del ADN de las muestras de sangre (apartado 4.1.2), en las muestras de saliva no aparecen nuevos alelos y se aprecia claramente cómo la existencia de campos de radiación y la acumulación en la evidencia de dosis hace que los STR pierdan su carácter identificador al no poder detectarse el número de repeticiones que contiene cada uno.

Tabla XIII. Relación de evidencias de ADN en saliva empleadas y dosis absorbida recibida por cada una de ellas.

Tipo muestra	referencia	muestra	tipo	Dosis / kGy
Saliva	17/07369/006	17/07369/006/BI/1	Troquel de tarjeta	10
		17/07369/006/BI/2		
	17/07369/007	17/07369/007/BI/1	Troquel de tarjeta	50
		17/07369/007/BI/2		
	17/07369/008	17/07369/008/BI/1	Troquel de tarjeta	100
		17/07369/008/BI/2		
	17/07369/009	17/07369/009/BI/1	Troquel de tarjeta	500
		17/07369/009/BI/2		
	17/07369/010	17/07369/009/BI/1	Troquel de tarjeta	1000
		17/07369/010/BI/2		

Este hecho se puede evidenciar de manera mucho más clara en la Figura 56, en la que se han seleccionado los 5 primeros STR de cada electroferograma de las evidencias de saliva (es decir, D3S1358, vWA, D16S539, CSF1PO y TPOX) para cada uno de los niveles de dosis absorbida seleccionados (10, 50, 100, 500 y 1000 kGy, respectivamente). Los resultados obtenidos de muestran un comportamiento similar al observado para las evidencias de ADN en sangre, es decir una disminución de la intensidad de la señal a medida que aumenta la dosis absorbida. En el caso de las muestras irradiadas hasta 10 kGy, 50 kGy y 100 kGy, la intensidad de las señales para cada uno de los alelos presenta una disminución significativa, tal y como refleja la escala lateral de la Figura 56, lo cual indica que el contenido de ADN en la muestra ha disminuido a medida que aumenta la dosis. Cuando la dosis absorbida alcanza o supera los 500 kGy el ADN de las muestras de saliva pierde su estructura cristalina y con ello la capacidad de regeneración (Abbondante 2009) (Goodwin 2013) (Butler, Forensic DNA typing 2005) y de identificación.

Al objeto de poder cuantificar y evaluar cómo influye la dosis absorbida en el ADN de las evidencias de saliva, en la Figura 57 se refleja la evolución de los picos de intensidad en función de la dosis absorbida, representando nuevamente la intensidad de las señales medidas (eje de ordenadas, ver Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55) en función de la dosis absorbida (eje de abscisas) para todos los marcadores genéticos analizados en los electroferogramas y agrupados de acuerdo con el colorante empleado en la electroforesis. Es importante remarcar que la escala empleada para la representación de la intensidad de la señal (eje de abscisas) es la misma en todas ellas, lo cual permite la comparación entre los distintos marcadores STR. También es idéntica en la Figura 47 y la Figura 57 lo cual permite una comparación mucho más sencilla.

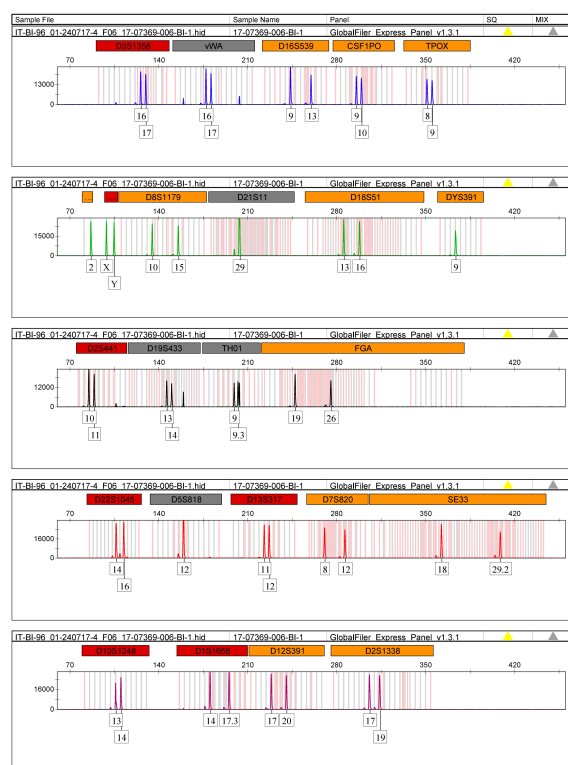


Figura 51. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy

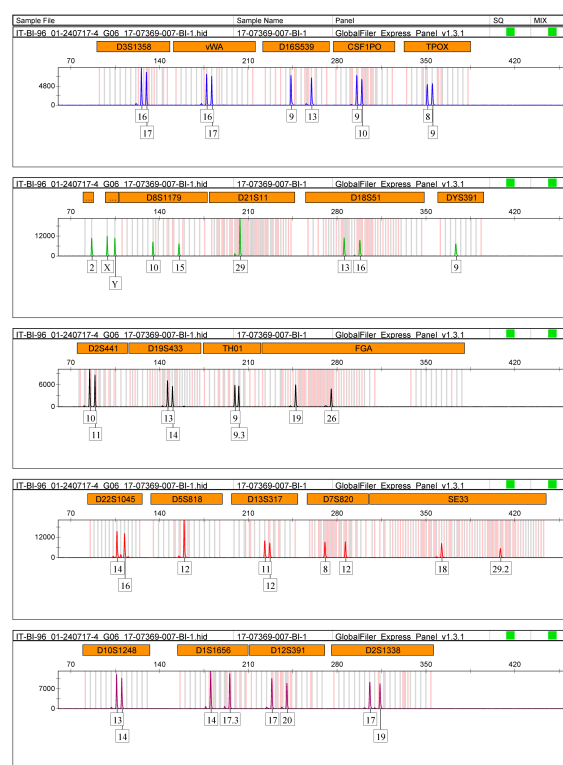


Figura 52. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy

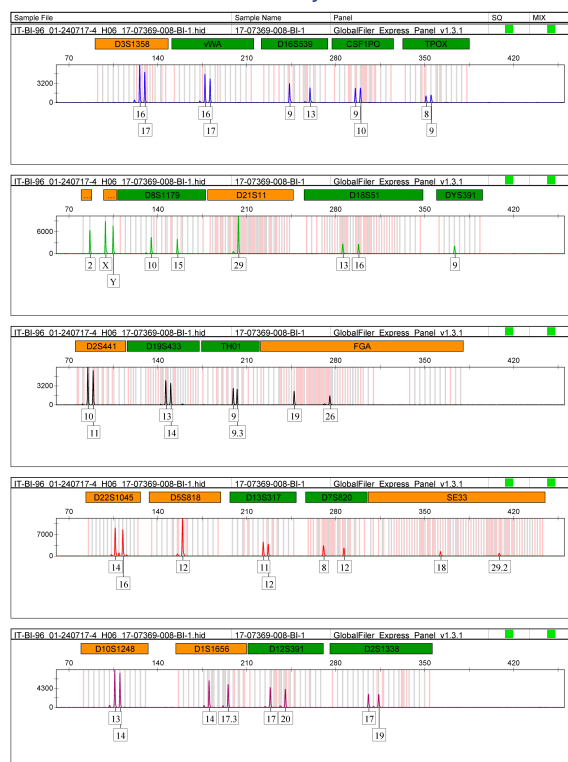


Figura 53. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy

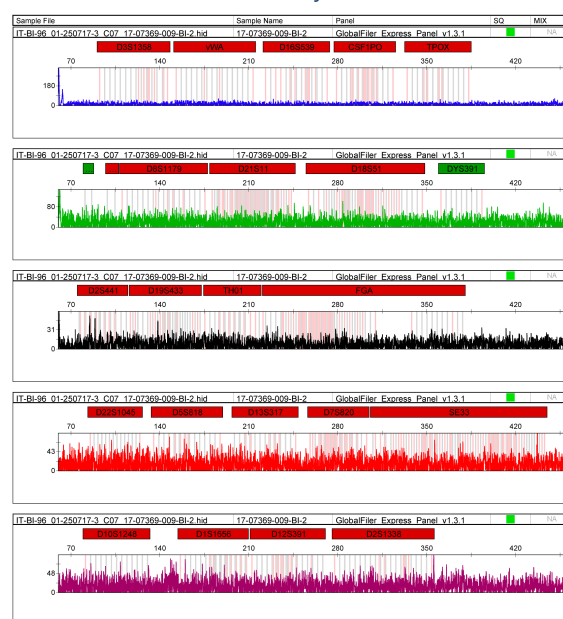


Figura 54. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy

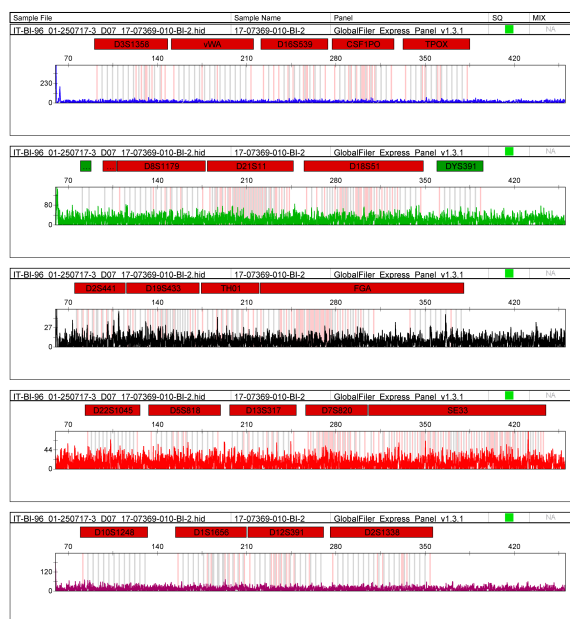


Figura 55. Electroferograma de una evidencia de ADN (saliva, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy

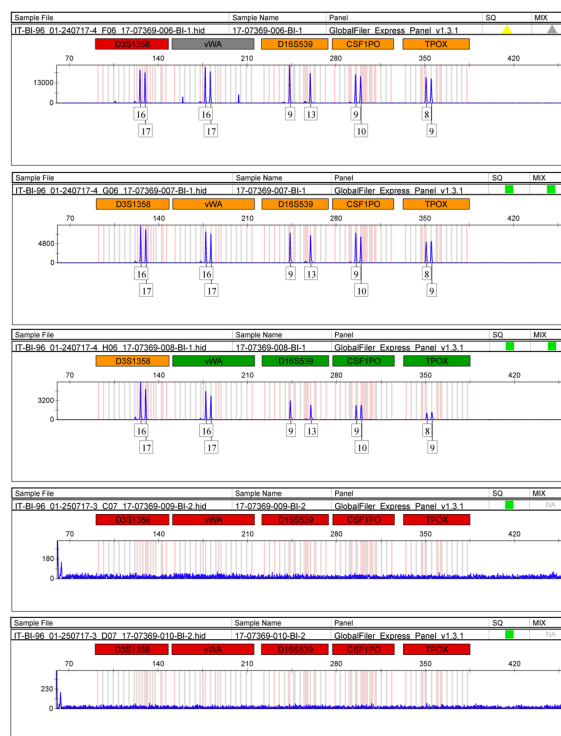


Figura 56. Evolución de los 5 primeros STR (en saliva) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55, respectivamente)

Como se puede observar en la Figura 57 todos los marcadores STR muestran una variación de la intensidad de los picos de los alelos con la dosis similar, es decir, se observa un detrimento en la intensidad de pico de casi la mitad de su valor cuando se produce un incremento de la dosis absorbida de 10 kGy a 50 kGy y lo mismo ocurre en el salto entre 50 kGy y 100 kGy; pero en el caso de alcanzar dosis iguales o superiores a 500 kGy, no se detecta pico alguno, es decir como consecuencia de la radiólisis (debida a la dosis absorbida y su efecto mediante mecanismos de actuación directa o indirecta) el ADN ha perdido su estructura y por ende su capacidad de identificación de un determinado individuo y su validez en un proceso judicial.

Por lo tanto de los resultados obtenidos en los electroferogramas (ver Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55, o su compilación (Figura 57) se puede concluir que las evidencias de saliva con dosis absorbidas de 10, 50 y 100 kGy permiten la identificación del ADN contenido en ellas. Sin embargo, aquellas muestras de saliva con mayores dosis absorbidas, 500 kGy y 1 MGy, presentan una desaparición de los picos de intensidad de los marcadores STR, lo que significa que se ha producido una severa disminución de la concentración de ADN debido a su desestructuración como consecuencia de procesos radiolíticos, por lo que las concentraciones de ADN en las evidencias de saliva correspondientes con niveles de dosis absorbida de 500 y 1000 kGy, en el mejor de los casos serían inferiores a los límites de cuantificación y detección de la técnica empleada.

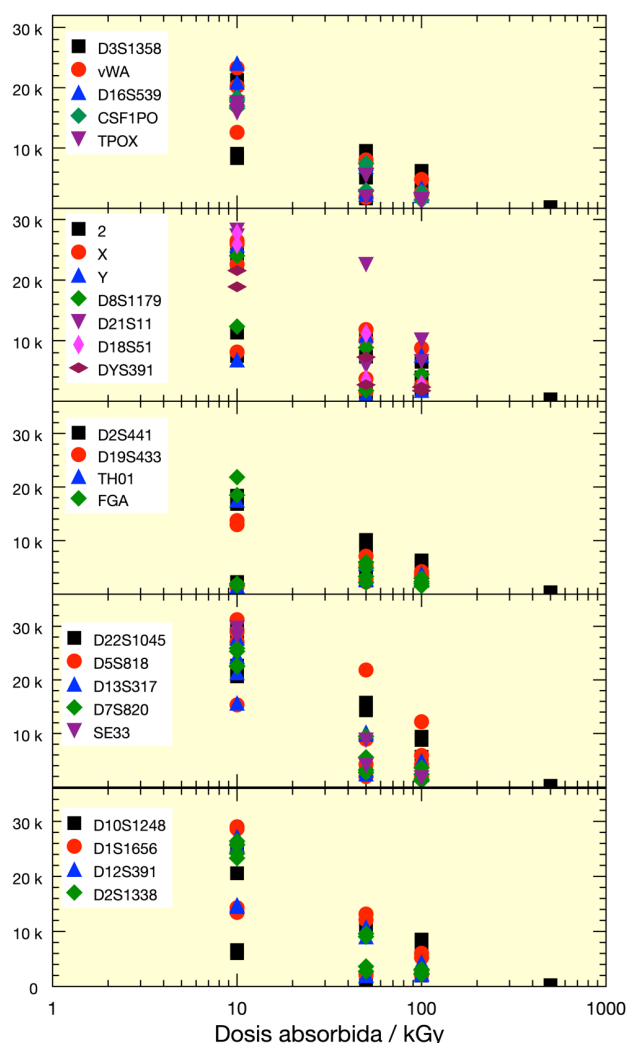


Figura 57. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de saliva.

Al igual que ocurría con las muestras de sangre, los STR más grandes sufren más los efectos de la radiación, si bien esta circunstancia no se aprecia tan claramente en los electroferogramas al desaparecer más bruscamente los alelos al alcanzar la dosis los 500 kGy. No obstante, en la Figura 58 se puede ver cómo se pueden identificar alelos de los STR más pequeños, ubicados a la izquierda, mientras que el resto ha desaparecido totalmente.

Una vez resuelta la primera incertidumbre y demostrada la influencia de la radiación absorbida en las evidencias de saliva (ADN), el paso siguiente es conocer si como consecuencia de la radiólisis dichas evidencias pierden la capacidad de identificación y cuál es el umbral de radiación en que dicho fenómeno se produce⁵⁴.

Como se puede constatar en la Tabla XIV, solamente existe certeza de que mantienen la capacidad de identificación desde el punto de vista forense y judicial aquellas evidencias de saliva cuyo valor de tasa de dosis absorbida es ≤ 100 kGy.

⁵⁴ Para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos en los electroferogramas, en la Tabla XVI se muestra en código de colores los resultados obtenidos del análisis de las muestras, utilizando la misma metodología que en la Tabla XIV

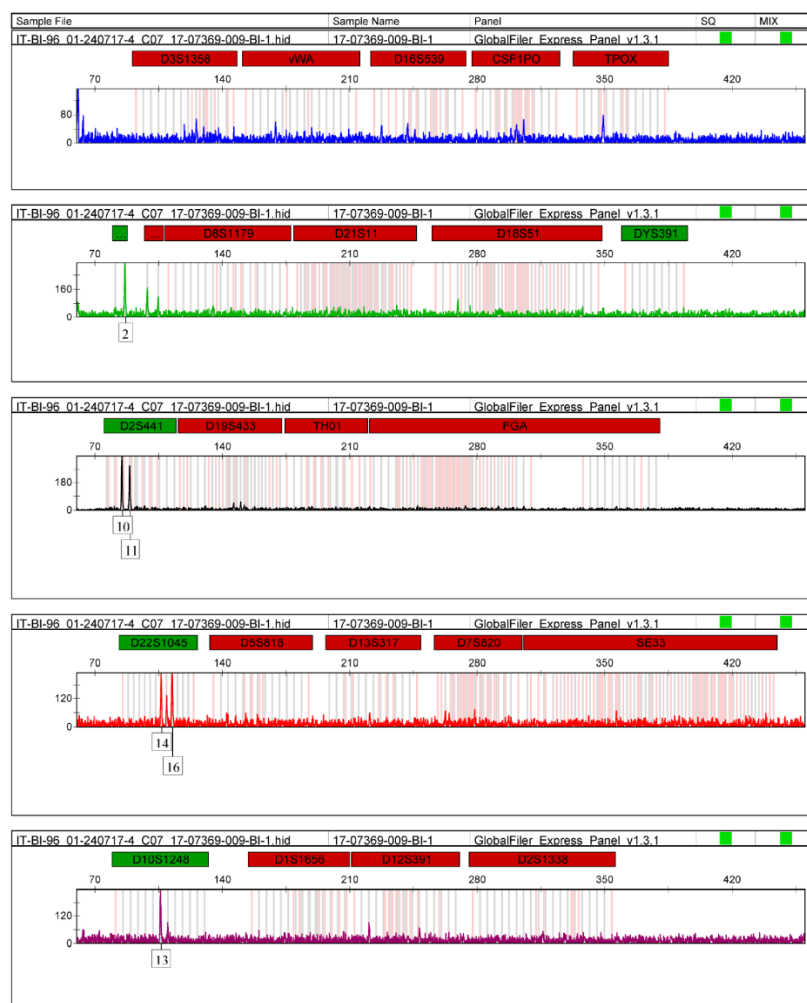


Figura 58. Electroferograma correspondiente a la muestra de saliva 17-07369-009-BI-1 radiada a 500 kGy.

Tabla XIV. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN en saliva

Ref. muestras	D3S1358	vWA	D16S539	CSF1PO	TPOX	D8S1179	D21S11	D18S51	D6S391	D2S441	D19S433	TH01	FGA	D22S1045	D5S818	D13S317	D7S820	SE33	D10S1248	D1S1656	D12S391	D2S1338	Dosis / kGy
17/07369/006/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/006/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/007/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/007/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/008/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/008/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/009/BI/1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	500
17/07369/009/BI/2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	500
17/07369/010/BI/1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	1000
17/07369/010/BI/2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	1000

✓ Marcador correcto

✗ Falta marcador

✗ Adición de artefacto

✗ Pérdida de alelo

Además se demuestra que cuando la dosis absorbida por las muestras es ≥ 500 kGy el ADN en saliva pierde su cualidad de identificación concluyente. Debido a que las muestras de ADN en saliva con dosis absorbidas superiores a 100 kGy muestran una intensa degradación, los marcadores no pueden ser detectados y medidos. En futuros trabajos se deberá definir mejor el umbral de degradación, realizando estudios con dosis entre 100 y 500 kGy, lo que permitirá observar cómo van desapareciendo cada una de las señales de los electroferogramas.

Cuando se estudia la evolución de la intensidad de los picos de los alelos en función de la longitud de los pares de bases y de la dosis absorbida por cada una de las evidencias (ver Figura 59) se constata que a medida que aumenta la dosis la intensidad de los picos disminuye respecto del electroferograma de referencia (Figura 40). Si se normalizan las intensidades respecto del valor de referencia (ver Figura 60) los valores obtenidos demuestran la destrucción de la estructura del ADN en la evidencia como consecuencia de la presencia de procesos de radiólisis inducidos por la radiación gamma.

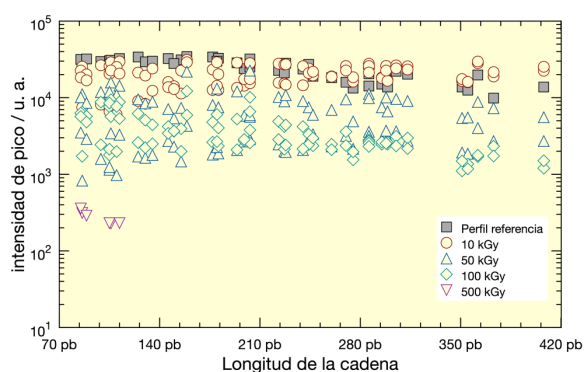


Figura 59. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de saliva.

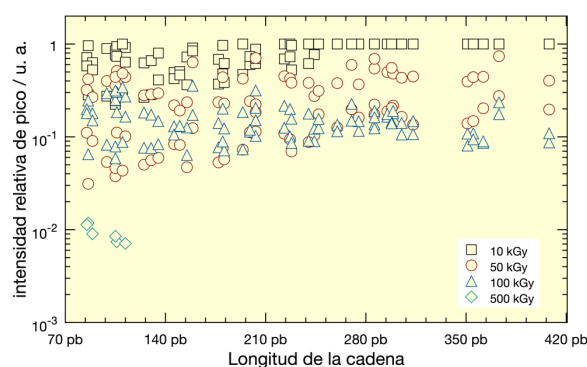


Figura 60. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de saliva.

Los resultados experimentales obtenidos en este apartado de la memoria permiten concluir que se ha demostrado el efecto de la radiación en la descomposición de las muestras de saliva, demostrando que para valores de tasa de dosis absorbida ≤ 500 kGy la muestra pierde su capacidad de servir como prueba desde el punto de vista forense y judicial.

4.1.4 Evidencias con células epiteliales.

Por último pero no menos importante, se procedió al estudio de las evidencias constituidas por células epiteliales. Estas evidencias, por definición con una menor concentración en ADN que las anteriores (Tabla V (Butler, Forensic DNA typing 2005)), presentan la complejidad de determinar si se ha producido la deposición o arranque de células del sujeto, si existe o no contaminación por otros ADN y/o la existencia de otros agentes que impidan el propio análisis de las muestras (humedad, presencia de agentes químicos, etc.). Por este motivo estas muestras presentaron la mayor complejidad a la hora de obtener resultados válidos para la experimentación de cara a su extracción y análisis, tal y como se explicó en el apartado dedicado a la extracción de muestras. De hecho en este apartado se ha considerado de interés para el estudio de investigación presentar un ejemplo de estudio fallido, cómo se detectó y las actuaciones posteriores realizadas.

En un primer momento se seleccionaron dos soportes en función de su recurrencia en una escena del delito: tapones estriados y llaves. La experiencia profesional de la Guardia Civil ha demostrado que es muy habitual encontrar restos de piel en los tapones estriados de las botellas y tetrabriks, ya que al ejercer fuerza sobre ellos para abrirlos quedan adheridos a sus estrías células de piel muerta arrancada. Lo mismo ocurre en el caso de las llaves, ya que es normal encontrar restos de piel entre sus dientes fruto de su manejo cotidiano.

Tras la extracción de las muestras referenciadas se procedió a la radiación en las instalación Náyade del CIEMAT de las series en función de su naturaleza (tapones y llaves, ver Figura 28 y Figura 29, respectivamente). Para la discusión de los resultados obtenidos éstos se van a dividir en distintos apartados, donde se presentaran los electroferogramas obtenidos con cada una de las muestras y su discusión particular, para al final discutir de manera conjunta la validez forense de las muestras y si existe o no un umbral de radiación a partir del cual la evidencia deja de tener validez.

4.1.4.1 Llaves.

Siguiendo la misma metodología que en el resto de evidencias, se irradiaron las llaves hasta los niveles de dosis absorbida prefijados (Tabla XV) y con posterioridad se analizaron en el laboratorio de la Guardia Civil, siguiendo los procedimientos del Cuerpo.

Los electroferogramas obtenidos del análisis del ADN para cada una de las evidencias (llaves de Al) de la Tabla XV se muestran en la Figura 61, la Figura 62, la Figura 63, la Figura 64 y la Figura 65, respectivamente.

Tabla XV. Dosis recibida por muestra de restos de piel en llaves de Al.

Tipo muestra	referencia	muestra	tipo	Dosis / kGy
Piel en llave	17/07369/011	17/07369/011/BI/1	Hisopo aplicado a la llave	10
	17/07369/012	17/07369/012/BI/1	Hisopo aplicado a la llave	50
	17/07369/013	17/07369/013/BI/1	Hisopo aplicado a la llave	100
	17/07369/014	17/07369/014/BI/1	Hisopo aplicado a la llave	500
	17/07369/015	17/07369/015/BI/1	Hisopo aplicado a la llave	1000

Los resultados obtenidos muestran un comportamiento similar, en rasgos generales, a lo observado con anterioridad en las evidencias de sangre y saliva. Como se constata en el estudio comparativo de la Figura 61 a la Figura 65, se demuestra que en las muestras de piel se aprecia claramente que el incremento de dosis absorbida lleva asociado una pérdida progresiva del carácter identificador de los STR, al no poder establecer el número de repeticiones que contiene cada uno si se compara con el electroferograma definido en este trabajo de investigación como de referencia (Figura 40).

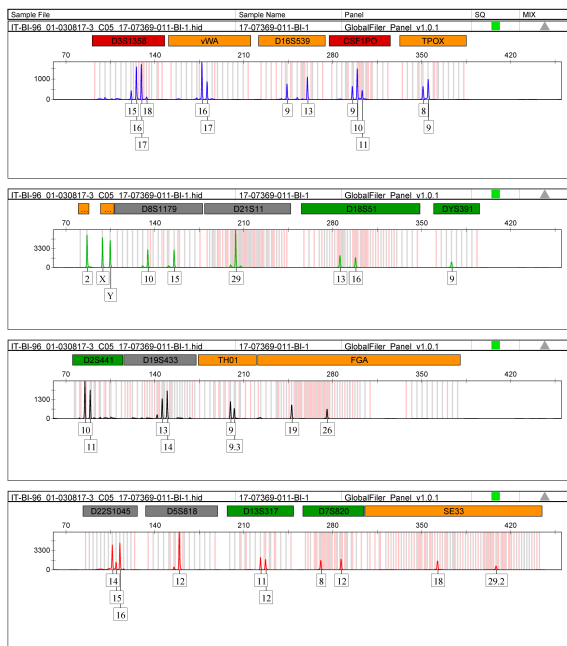


Figura 61. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy

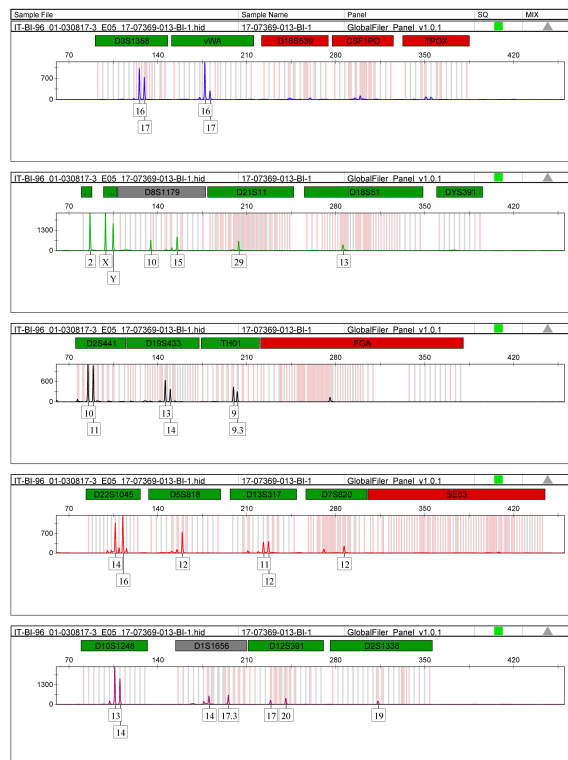


Figura 63. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/003/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy

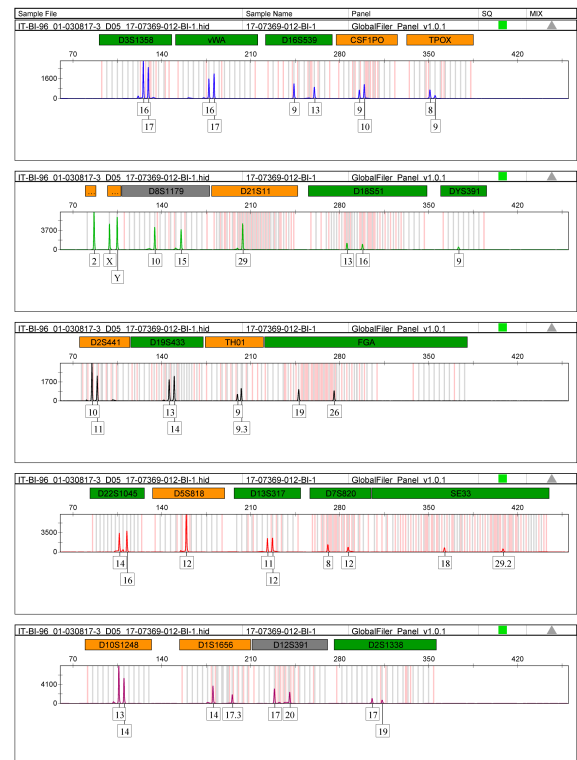


Figura 62. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy

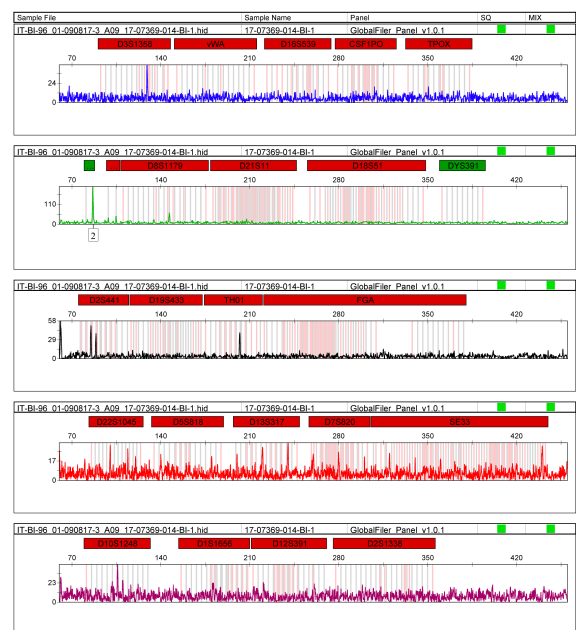


Figura 64. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/004/BI/1) con una dosis absorbida de 500 kGy

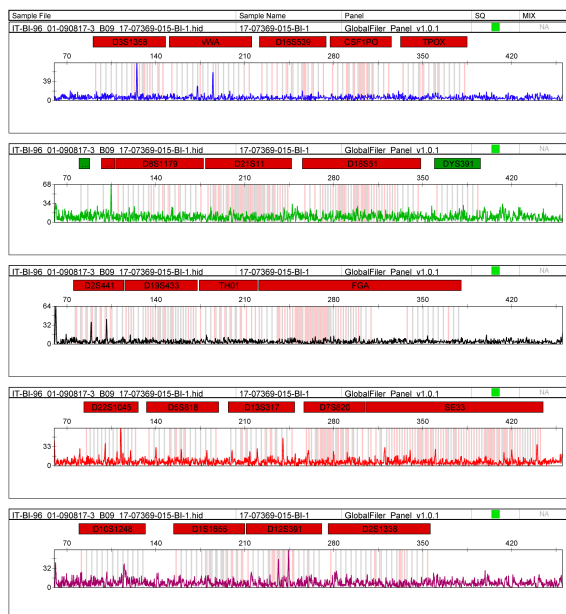


Figura 65. Electroferograma de una evidencia de ADN (llave, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 1000 kGy

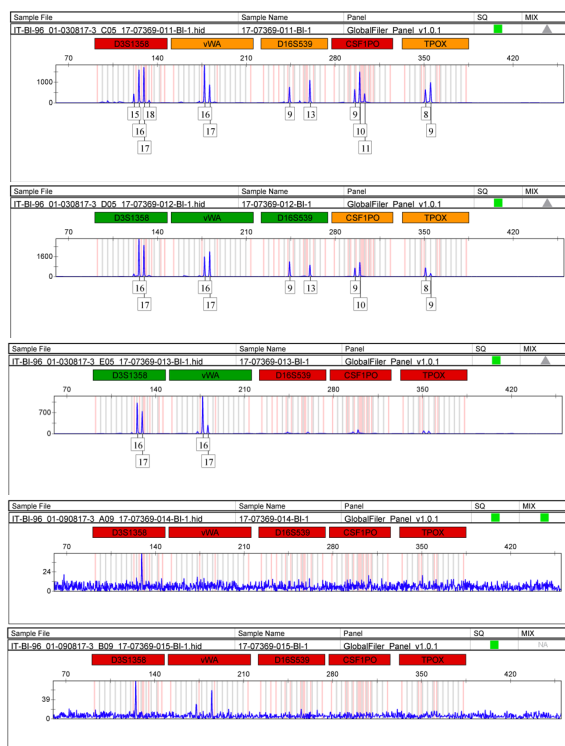


Figura 66. Evolución de los 5 primeros STR (en llave) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy (Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64 y Figura 65, respectivamente)

Repitiendo para estas evidencias el estudio de los 5 primeros STR (D3S1358, vWA, D16S539, CSF1PO y TPOX, ver Figura 66) en función de las dosis absorbidas por las muestras, es decir, 10, 50, 100, 500 y 1000 kGy se constata que la intensidad de las muestras es menor que en cualquiera de las anteriores, luego concuerda con lo descrito con anterioridad de ser evidencias con una menor concentración de ADN; las intensidades de los picos obtenidos a dosis absorbidas ≥ 100 kGy son muy bajas, lo que posiblemente dificulte su capacidad de identificación forense. En el caso de los electroferogramas realizados a 500 kGy y 1 MGy, no se observa la aparición de pico alguno lo que indica que como consecuencia de la radiolisis se ha producido la ruptura de la estructura del ADN.

Al igual que se hizo con las evidencias de sangre y saliva, en la Figura 67 se muestra la influencia de la radiación para cada uno de los alelos de los STR seleccionados. Los resultados obtenidos en comparación con los anteriores (Figura 47, Figura 57) muestran una intensidad de los picos sensiblemente menor, como era de esperar al tratarse de evidencias con una concentración en ADN mucho menor. Este hecho favorece un mayor efecto de los procesos radiolíticos en la degradación de la estructura del ADN y por ende en la intensidad de los picos obtenidos.

De los resultados obtenidos en esta memoria de investigación se puede concluir que las evidencias tomadas de células epiteliales en llaves, muestran una sensibilidad mayor que las anteriores. Estos resultados se discutirán con mayor profundidad en apartados posteriores.

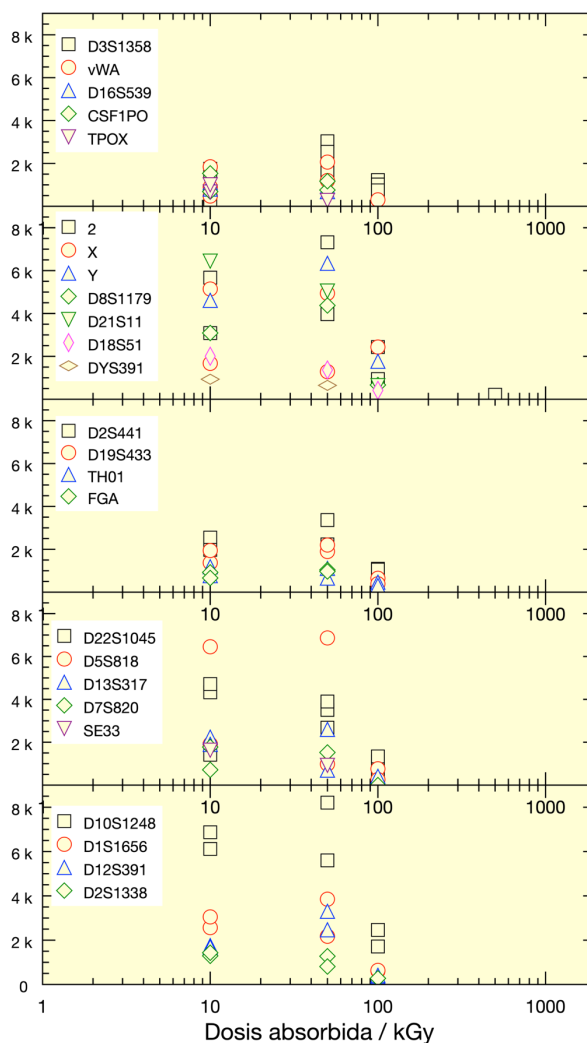


Figura 67. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de restos de células epiteliales en llaves.

4.1.4.2 Tapones con mezcla de ADN.

En este apartado se presenta un caso especial, que sirve como lecciones aprendidas y que demuestra cómo en el trabajo de investigación, al ser un trabajo científico, se producen situaciones donde se puede aprender de los errores y extraer información adicional relevante.

Siguiendo con la metodología empleada en esta memoria y mediante el procedimiento de toma de evidencias en tapones, la primera serie de muestras fueron catalogadas y enumeradas (Tabla XVI) y remitidas al CIEMAT para su irradiación. Las muestras irradiadas se remitieron a los laboratorios de la Guardia Civil, donde se extrajo el ADN de los tapones y de la botella mediante la utilización de hisopo.

En este caso solo se obtuvieron electroferogramas de la muestra de ADN en los hisopos que se muestran en la Figura 68 y la Figura 69, correspondientes a las evidencias irradiadas a 10 y 50 kGy, respectivamente. Como se puede observar en ambas figuras, lo primero que se detecta es que las intensidades de los picos obtenidas son menores que cualquiera de los casos anteriores analizados. Hecho que está relacionado con la menor concentración en ADN de las

muestras analizadas y podría ser un factor que condicionara la investigación o bien exigiera un número mayor de réplicas para concluir el estudio. También se reproduce un comportamiento similar de la intensidad de pico con la dosis absorbida en las muestras, si bien los procesos de descomposición de la estructura del ADN se ven más agravados, al ser menor la cantidad inicial de concentración de ADN en la muestra y estar en entornos con contenidos de agua elevada, lo que favorecerá los procesos de radiolisis indirecta.

Tabla XVI. Dosis recibida por muestra de restos de piel en tapón (muestra mezcla de ADN).

Tipo muestra	referencia	muestra	tipo	Dosis / kGy
Piel en tapón	17/07369/021	17/07369/021/BI/1	Hisopo exterior botella	10
		17/07369/021/BI/2	Hisopo boquilla	
	17/07369/022	17/07369/022/BI/1	Hisopo exterior botella	50
		17/07369/022/BI/2	Hisopo boquilla tapón	
		17/07369/022/BI/3	Hisopo boquilla botella	
	17/07369/023	17/07369/023/BI/1	Hisopo exterior botella	100
		17/07369/023/BI/2	Hisopo boquilla tapón	
		17/07369/023/BI/3	Hisopo boquilla botella	
	17/07369/024	17/07369/024/BI/1	Hisopo exterior botella	500
		17/07369/024/BI/2	Hisopo boquilla tapón	
		17/07369/024/BI/3	Hisopo boquilla botella	
	17/07369/025	17/07369/025/BI/1	Hisopo exterior botella	1000
		17/07369/025/BI/2	Hisopo boquilla tapón	
		17/07369/025/BI/3	Hisopo boquilla botella	

Luego de los resultados obtenidos y mostrados en la Figura 68 y la Figura 69, se puede concluir que en este caso aquellas muestras con dosis absorbidas > 50 kGy, pierden su capacidad de identificación y de utilización desde el punto de vista forense y/o judicial.

Llegados a este punto, el análisis y discusión de los datos sería el mismo que el realizado con anterioridad, pero cuando se comparan los electroferogramas obtenidos (Figura 68 y Figura 69), con el de referencia (ver Figura 40) hay una característica que resalta y que invalida estas muestras desde el punto de vista forense. En este caso el resultado del estudio de ADN es excluyente, ya que si se comparan los alelos correspondientes a los STR de la muestra objeto de estudio con la indubitada se observa que existen diferencias entre los alelos, siendo la más llamativa la correspondiente a la amelogenina, donde se observa que sólo se detecta el cromosoma X y no aparece el pico del cromosoma Y, siendo por tanto un ADN de mujer.

Después de un análisis y revisión de todo el procedimiento de experimentación se llegó a la conclusión de que en el análisis efectuado en el laboratorio, el técnico que realizó la recogida del ADN incluyó la recogida con el hisopo de ADN en zonas que no habían sido previamente esterilizadas y donde el autor no había inferido (por ejemplo las boquillas), por lo que se obtuvieron unos resultados anómalos al recogerse ADN de otra persona. Por este motivo se repitió el estudio con nuevas evidencias que se discute en el apartado siguiente.

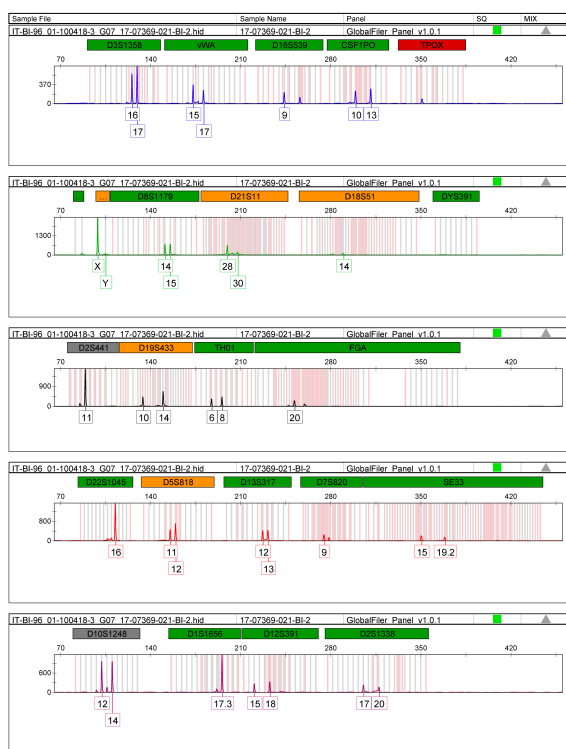


Figura 68. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapón, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy



Figura 69. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapón, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy

4.1.4.3 Tapones – 2ª verificación.

Como se ha comentado en el apartado anterior, en éste se presentan los resultados obtenidos en las series de muestras repetidas de ADN retenido como consecuencia de producción de procesos de abrasión que producen el arranque de células epiteliales y su deposición en tapones. Las muestras así tratadas se presentan en la Tabla XVII.

Otra de las lecciones aprendidas de los ensayos previos es que sería necesario incrementar la concentración de ADN en la muestra si fuera posible, por lo que se incrementó el tiempo en el que se frotaban los tapones en las manos del sujeto de referencia. Los resultados de los electroferogramas obtenidos para cada uno de los niveles de dosis absorbida reflejados en la Tabla XVII se muestran en la Figura 70, la Figura 71 y la Figura 72. El análisis de los electroferogramas, es decir los picos de los STR y su intensidad en las evidencias de tapones irradiados, muestran un comportamiento muy similar en cuanto a la resistencia de los STR, como se discutirá con posterioridad en el mapa de calor, pero a diferencia de lo ocurrido y discutido en el apartado anterior coincide con el perfil del donante.

Es importante indicar que también en esta ocasión en los electroferogramas aparecen irregularidades, en concreto el ADN del autor aparece mezclado con el de otra u otras personas, por lo que aparecen alelos añadidos (reflejados mediante código en amarillo en las figuras). La explicación se justifica como consecuencia de que en la segunda prueba con los tapones, los mismos fueron manipulados por el donante sin haberlos esterilizado, por lo que también aparece ADN de otras personas, probablemente de su propia familia, ya que los tapones fueron aportados

por el donante directamente de los empleados en su hogar⁵⁵. Sin embargo esta circunstancia no afecta a los resultados, ya que se puede apreciar claramente el momento en que la radiación afecta a los STR.

Tabla XVII. Dosis recibida por muestra de restos de piel en tapón (muestra sólo un ADN).

Tipo muestra	referencia	muestra	tipo	Dosis / kGy
Piel en tapón	17/07369/036	17/07369/036/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	10
	17/07369/037	17/07369/037/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	50
	17/07369/038	17/07369/038/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	100
	17/07369/039	17/07369/039/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	500
	17/07369/040	17/07369/040/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	1000
	17/07369/041	17/07369/041/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	10
	17/07369/042	17/07369/042/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	50
	17/07369/043	17/07369/043/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	100
	17/07369/044	17/07369/044/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	500
	17/07369/045	17/07369/045/BI/1	Hisopo por el lateral rayado	1000

En la Figura 73 (siguiendo con la misma metodología utilizada en casos anteriores) se muestran los 3 primeros STR (es decir, para dosis absorbidas de 10, 50 y 100 kGy, respectivamente). No se incluyen los electroferogramas a 500 kGy y 1 MGy ya que sólo se han obtenido valores de ruido. Como ya se ha comentado para el caso de los anteriores análisis realizados a partir de las células extraídas de tapones, al ser muestras con concentraciones bajas de ADN la intensidad del pico es mucho menor, por lo que se empiezan a constatar pérdidas de señales de los STR incluso a 50 kGy, obteniéndose señal de fondo (ruido), es decir ausencia total de picos en los electroferogramas de evidencias realizadas a 500 kGy y 1 MGy. Hecho que demuestra que debido a procesos radiolíticos se produce la descomposición estructural del ADN.

Un análisis exhaustivo mediante comparación con el electroferograma de referencia (Figura 40) reveló que en el primer electroferograma (Figura 70) aparecen trazas de un segundo ADN, con alelos 14, 15, 16 y 17 para el SR DS1358, y 16, 17 y 19 para el vWA. Sin embargo estos alelos añadidos desaparecen en las evidencias con una dosis absorbida mayor (Figura 71 y la Figura 72), hecho que posiblemente este asociado tanto con una menor presencia de este ADN ajeno al donante, como a procesos de destrucción de ADN por radiolisis.

Aunque no es parte de este estudio indicar que aquellos tapones con dosis absorbidas ≥ 100 kGy, el material irradiado había sufrido una modificación en su propiedades mecánicas, convirtiéndose un material frágil cuya ruptura se producida con una simple acción manual. Dicha fragilidad aumenta con el incremento de dosis absorbida.

⁵⁵ Es de señalar que en este caso sí parece el ADN del autor, aunque mezclado con el de otras personas, sin embargo en el caso anterior, el ADN, al haberse recogido de zonas en las que el autor no había tenido contacto, pertenece a otro donante desconocido.

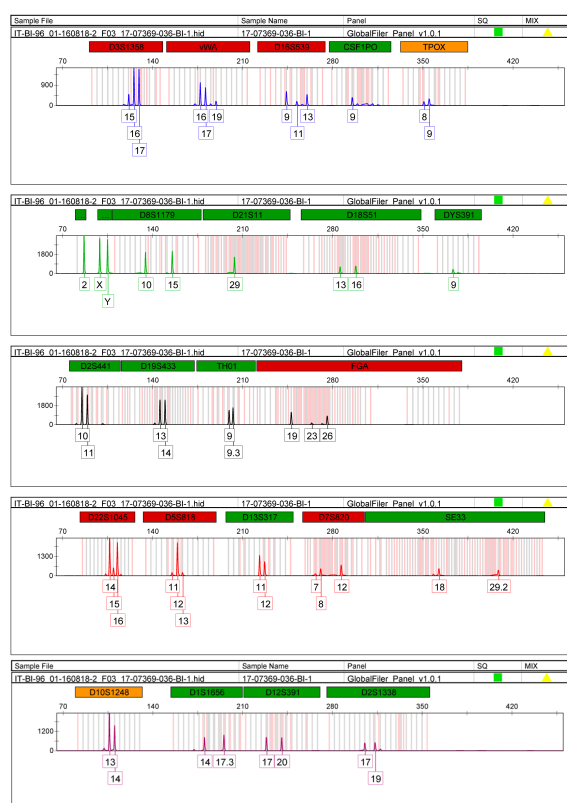


Figura 70. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/001/BI/1) con una dosis absorbida de 10 kGy.

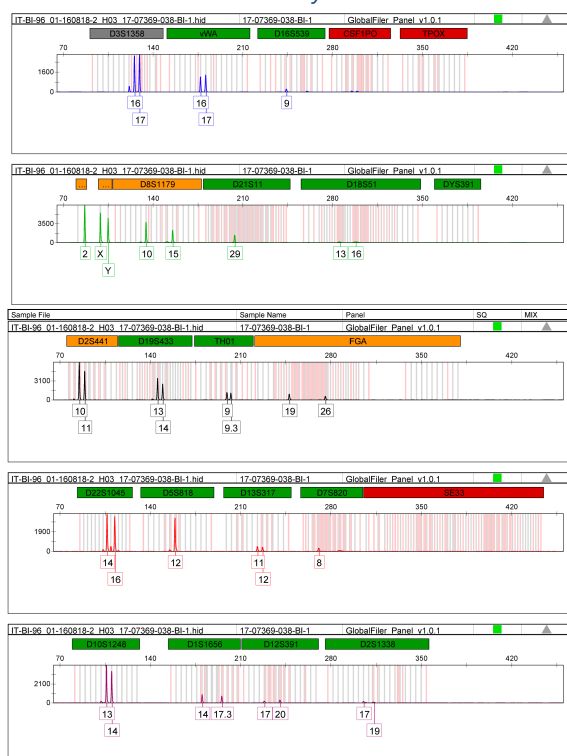


Figura 72. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/005/BI/1) con una dosis absorbida de 100 kGy.

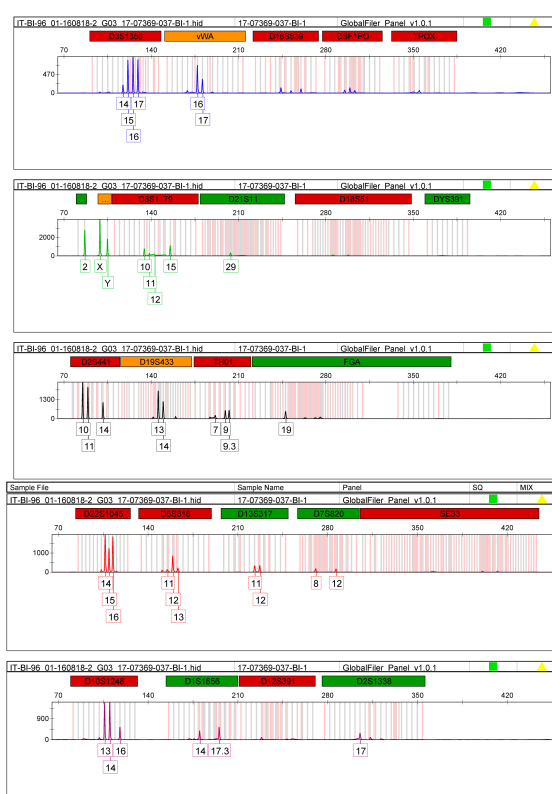


Figura 71. Electroferograma de una evidencia de ADN (tapones, 17/07369/002/BI/1) con una dosis absorbida de 50 kGy

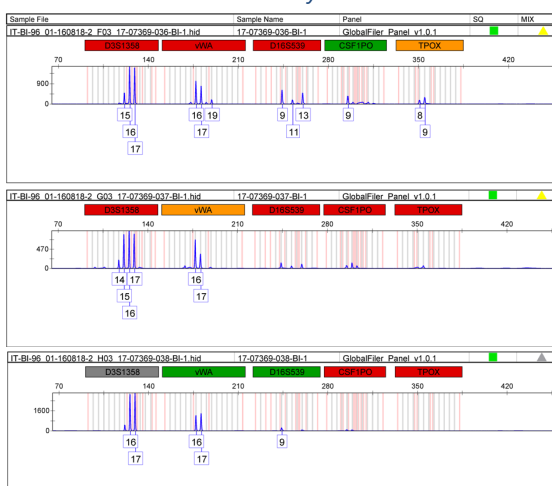


Figura 73. Evolución de los 5 primeros STR (en saliva) con la dosis absorbida, correspondientes con valores de 10, 50 y 100 kGy (la Figura 70, la Figura 71 y la Figura 72, respectivamente)

Como se hizo en los demás casos, la Figura 74 refleja la evolución de los picos de intensidad en función de la dosis absorbida, representando nuevamente la intensidad de las señales (eje de ordenadas) en función de la dosis absorbida (eje de abscisas) para todos los marcadores genéticos agrupados de acuerdo con el colorante empleado en la electroforesis. Como se puede observar todos los marcadores STR muestran el mismo modelo de disminución con la presencia de radiación. Indicar que en este gráfico se han incluido todos los resultados obtenidos de los electroferogramas realizados a partir de evidencias de células epiteliales extraídas de los tapones.

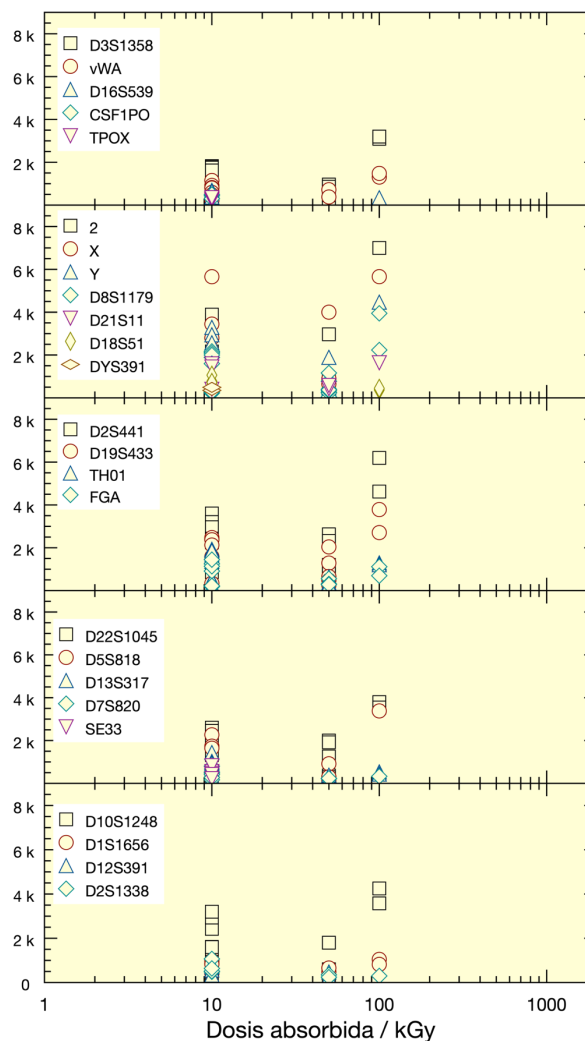


Figura 74. Evolución de la intensidad de picos de los alelos de los STR en función de la dosis absorbida por las evidencias de restos de células epiteliales en tapones.

Lo mismo que ocurría en las evidencias extraídas de llaves (Figura 67) la intensidad de los picos es muy similar del mismo orden de magnitud (ver Figura 74), es decir, concentración de ADN baja, lo que permite observar de manera más evidente el efecto de la radiación en la destrucción del ADN existente en dichas evidencias.

Como no podía ser de otra manera, también en este caso desaparecen primero los STR mayores, tal y como se puede apreciar en la Figura 75.

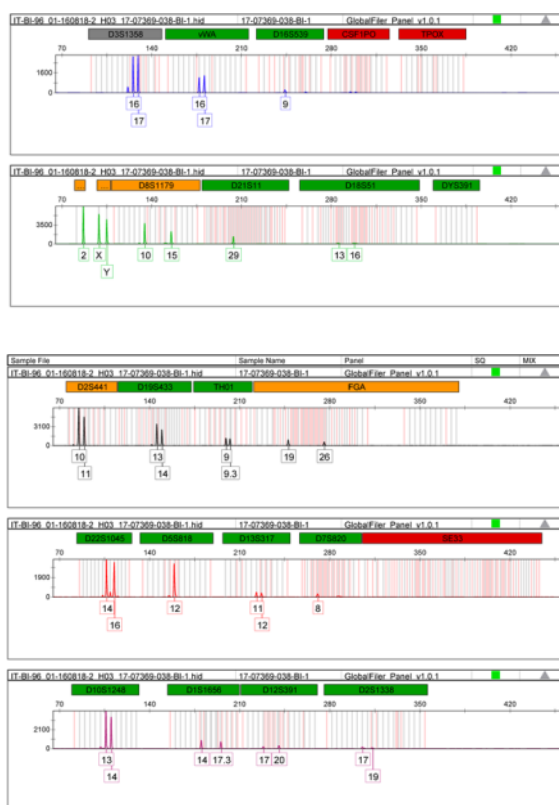


Figura 75. Electroferograma correspondiente a la muestra 17-07369-038-BI-1 de tapones radiados a 100 kGy.

4.1.4.4 Discusión conjunta de los resultados

Como se ha demostrado este tipo de evidencias con un menor contenido en ADN muestran una mayor sensibilidad al efecto de los procesos de destrucción de la estructura del ADN debida a la radiolisis provocada por la presencia de radiación ionizante. Para un mejor análisis, en la Tabla XVIII se muestra la misma representación con colores utilizada con anterioridad.

Los resultados obtenidos en esta memoria de investigación demuestran (ver Tabla XVIII) que en el caso de evidencias ADN tomadas a partir del ADN retenido en llaves, aquellas cuyos valores de dosis absorbida es de 10, 50 y 100 kGy continúan conservando la estructura del ADN y conservan su capacidad de identificación forense. Sin embargo, el mismo tipo de evidencias con valores de dosis absorbidas mayores (500 kGy y 1 MGy) presentan una drástica reducción de los picos de intensidad de los marcadores STR, lo que significa que las señales correspondientes a dosis de 500 y 1000 kGy están por debajo de los límites de detección técnica, al haberse producido la destrucción de la estructura del ADN por radiolisis.

En el caso de las evidencias tomadas a partir de tapones irradiados, éstas presentan una concentración de ADN aún menor que la recogida en llaves, por lo que incluso a partir de 50 kGy empiezan a notarse los efectos en algunos marcadores y a partir de 100 kGy se degradan totalmente. En las evidencias extraídas de piel retenida en tapón se constató la influencia de otros factores, como puede ser la manipulación inadecuada de algunas muestras. En la primera ocasión en que se llevó a cabo la prueba, se efectuaron búsquedas de ADN en lugares que no había tocado el donante, por lo que apareció un perfil genético distinto, en concreto uno de mujer.

Tabla XVIII. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN

Muestra	D3S1358	WWA	D16S539	CSF1PO	TPOX	D8S1179	D21S11	D18S51	DY6391	D2S441	D19S433	TH01	FGA	D22S1045	D5S818	D13S317	D7S820	SE33	D10S1248	D1S1656	D12S391	D2S1338	Dosis / kGy
17/07369/011/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/012/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/013/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/014/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/015/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000
17/07369/021/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/021/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/022/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/022/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/022/BI/3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/023/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/023/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/023/BI/3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/024/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/024/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/024/BI/3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/025/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000
17/07369/025/BI/2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000
17/07369/025/BI/3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000
17/07369/036/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/037/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/038/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/039/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/040/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000
17/07369/041/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
17/07369/042/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
17/07369/043/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
17/07369/044/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500
17/07369/045/BI/1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1000

✓ Marcador correcto

✗ Falta marcador

⚡ Adición de artefacto

□ Pérdida de alelo

El estudio realizado revela que a efectos de este estudio de resistencia a la radiación, para dosis absorbidas ≥ 100 kGy no se detectan picos, incluso a 50 kGy se empieza a observar la ausencia de algunos de ellos. Al igual que ocurría con las muestras de sangre, no todos los loci se ven afectados de igual manera por la radiación. Los STR D3S1358, D16S539, CSF1PO, TPOX, D18S51, DYS391, FGA, D7S820 y SE33, se ven más afectadas y se degradan antes que las demás STR empleadas para la identificación. Nuevamente se deduce que los STR mayores sufren mayor degradación.

De todo lo expuesto con anterioridad, se puede concluir que en el caso de evidencias extraídas de ADN en llaves y tapones, al ser estas muestras con muy bajo contenido en ADN, el efecto de la radiación es mucho mayor; y si bien las evidencias de llaves mantienen la capacidad forense hasta los 100 kGy en el caso de las obtenidas en tapones dicha capacidad se pierde a partir de los 50 kGy.

A diferencia de lo que ocurría en el caso de las evidencias de sangre y de saliva, cuando se compara la intensidad de los picos de los alelos en el electroferograma en función de la longitud de los pares de bases, de la dosis absorbida y con las intensidades del electroferograma de

referencia (ver la Figura 78), se constata la diferencia inicial en la concentración de ADN de las evidencias, pero la intensidad de los picos para la misma dosis absorbida es muy similar con independencia de que la muestra fuera tomada a partir de llaves o de tapones. Si se normalizan dichos resultados respecto de los valores de referencia (ver Figura 79) se constata mucho mejor tanto el comportamiento similar, como la existencia de un efecto mayor de la radiólisis en aquellos alelos con una longitud de pares de bases mucho mayor.

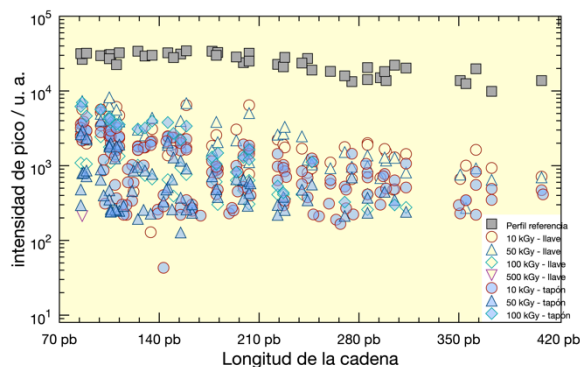


Figura 76. Intensidad de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de restos de células epiteliales en llaves y tapones.

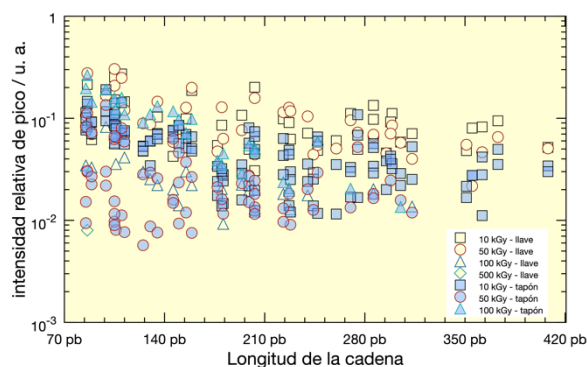


Figura 77. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y la dosis absorbida en evidencias de células epiteliales en llaves y tapones.

La experimentación realizada con evidencias epiteliales permite concluir que existe una influencia mayor de la dosis absorbida en este tipo de muestras, con concentración en ADN menor, constatándose que, con independencia de que se trate de evidencias extraídas de llaves o de tapones, cuando la dosis absorbida es > 50 kGy las evidencias pierden su capacidad de ser empleadas desde el punto de vista forense y judicial.

4.1.5 Evaluación y discusión conjunta de los resultados.

La primera conclusión relevante que se extrae es que la radiación no produce cambios en los alelos de los STR, por lo que la muestra seguirá siendo útil para identificar a su propietario, ya que de alterarse un único STR, la muestra sería excluyente y no permitiría relacionar el ADN encontrado con el indubitado de muestra. En un estudio de identificación, se descarta que dos muestras de ADN pertenecen a la misma persona en cuanto no concuerdan los alelos de un STR. Por el contrario, para poder concluir que tienen el mismo origen deben concordar al menos 9 STR y el del sexo. En el caso de las muestras radiadas se observa que en ningún caso aparecen nuevos alelos, por lo que solo serán descartadas si no se mantienen al menos 9 STR por encima del umbral técnico de detección.

En cada una de las evidencias analizadas ha de tenerse en cuenta la concentración inicial en ADN a la hora de analizar la resistencia a la radiación de las distintas evidencias. Como ya se ha comentado en apartados anteriores la concentración de ADN en las evidencias consideradas en este trabajo de investigación puede variar desde los contenidos más elevados en las muestras de sangre, con concentraciones en el intervalo entre $20 - 40 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, saliva: de $1 - 10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y las células epiteliales: $3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (ver Tabla V, (González Andrade y Martínez Jarreta 2001) (Butler, Forensic DNA typing 2005)) lo que proporcionará una señal diferente para el mismo alelo, condiciones y dosis absorbida.

Otra variable que podría influir es el hecho de que las células son diferentes entre sí, variando en forma y tamaño en función de la misión que desempeñan. Una posible clasificación atendería al grupo de células al que pertenecen, es decir, en qué tipo de tejido pueden encontrarse. El cuerpo humano está formado por cuatro tipos distintos de tejido: epitelial, que configura las capas superficiales del organismo; conjuntivo, que actúa como conexión entre tejidos y conforma la estructura del cuerpo; muscular, que como su propio nombre indica, está conformado por la agrupación de células que forman los músculos; y nervioso, que incluye a todos los elementos que forman ese sistema. En función del tipo de célula variaría la penetración de la radiación en su interior y por consiguiente su efecto sobre el ADN.

Una de las incertidumbres que es imposible analizar, es diferenciar los efectos de los mecanismos directos en la estructura de ADN y los indirectos, o provocados por la interacción de especies ionizadas producidas en las inmediaciones de la molécula de ADN. Para poder verificar con exactitud la resistencia de un determinado STR a la radiación, habría que extraer el ADN previamente de la muestra antes de someterlo a radiación. De esta manera no estaría sujeto a la influencia de otros factores como la concentración o la resistencia de la célula en cuestión, pero aun así sí estaría expuesto a la interacción con especies generadas por la radiólisis del disolvente. No obstante, dicho estudio carecería del valor práctico que persigue este trabajo de investigación, toda vez que en una escena del delito no se encuentra ADN aislado, sino sangre u otros restos biológicos. Queda pendiente profundizar éste campo para ulteriores trabajos dentro del ámbito científico, aunque con escasa aplicación policial.

Otra conclusión inmediata es que no todos los loci se ven afectados de igual manera por la radiación. Los STR D16S539, CSF1PO, TPOX, D18S51, DYS391, FGA, D7S820 y SE33 se ven más afectadas y se degradan antes que las demás STR empleadas para la identificación. Esta situación plantea la hipótesis de que los STR mayores sufren más degradación como consecuencia de la mayor longitud de la cadena, es decir, del número de pares de bases. Hecho que se puede constatar en la Tabla XIX, donde con independencia de la naturaleza de la evidencia, se constata cómo estos STR son los que muestran una menor resistencia a la radiación.

En la Tabla XIX, se muestran los resultados obtenidos en los electroferogramas realizados a cada una de las series de muestras ensayadas, lo que permite comprobar la resistencia de las evidencias a la radiación (dosis absorbida). Si bien este diagrama de color se deduce directamente de los electroferogramas, se ha considerado de interés su inclusión y discusión en esta memoria de investigación por ser la metodología empleada por la Guardia Civil en los informes forenses que se presentan en los procesos judiciales para explicar de una forma gráfica que una evidencia con ADN corresponde a un determinado individuo.

Tabla XIX. Influencia de la dosis absorbida en la validez forense como muestra indubitada de las evidencias de ADN

[illegible]

Los resultados demuestran los distintos niveles de resistencia a la radiación de las evidencias forenses en función de su naturaleza. Se puede concluir que el orden de mayor a menor resistencia de las evidencias es: sangre (hasta dosis absorbidas < 1 MGy), saliva (hasta dosis absorbidas < 500 kGy) y células epiteliales (hasta dosis absorbidas < 100 kGy). De los ensayos realizados y los publicados y referenciados en esta memoria de investigación (Abbondante 2009) (Goodwin 2013) (Holmes-Siedle y Adams 2002) (Monson, y otros 2018) es muy difícil discernir si la pérdida de la estructura del ADN se produce como consecuencia de mecanismos de interacción directa con la dosis absorbida o indirecta por interacción química con las especies producidas por radiólisis.

Por último, y siguiendo con la metodología de análisis presentada con anterioridad en cada uno de los apartados y para evaluar el efecto de la radiólisis en cada una de las evidencias para una única dosis absorbida, en la Figura 78, la Figura 79, la Figura 80, la Figura 81 y la Figura 82 se muestran los resultados obtenidos de la variación de la intensidad relativa de cada uno de los picos en función de la longitud de la cadena para dosis absorbida de 10 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 500 kGy y 1 MGy, respectivamente y que serán discutidas de manera separada.

En los resultados obtenidos para dosis absorbidas menores (Figura 78), se observa un comportamiento similar en las evidencias de sangre y saliva, pero diferente al de las muestra epiteliales. En el caso de las primeras no se observa efecto alguno de la radiación con la longitud de la cadena mientras que en las células epiteliales sí. Sin embargo, en la Figura 79, correspondiente con valores de dosis absorbida de 50 kGy hay una mayor dispersión en los valores de las intensidades obtenidas en los electroferogramas, pero se observa una mayor intensidad de pico para el caso de las evidencias de sangre que de saliva, y unos valores de intensidad de pico menores para el caso de las evidencias epiteliales.

Si se sigue el estudio comparativo y se analizan los datos correspondientes a 100 kGy (Figura 80) se sigue observando cómo las muestras de sangre presentan un valor de intensidad mayor que el resto; y en el caso de las células epiteliales se vuelve a observar cómo se han perdido todas las señales correspondientes de los alelos con longitud de cadena mayor. Hecho que se reproduce para el caso de la saliva en la Figura 81 (500 kGy) y la sangre en la Figura 82 (1 MGy). Como se demuestra en todos los casos y con independencia de la naturaleza de la evidencia, los primeros alelos en perder su estructura como consecuencia de la radiación son aquellos cuya longitud de cadena es mayor, hecho que está relacionada con los mecanismos de interacción directa de la radiación, como por ejemplo la ruptura de puentes de H o de enlaces.

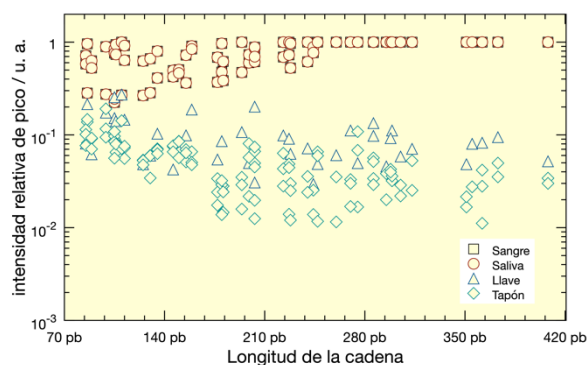


Figura 78. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 10 kGy.

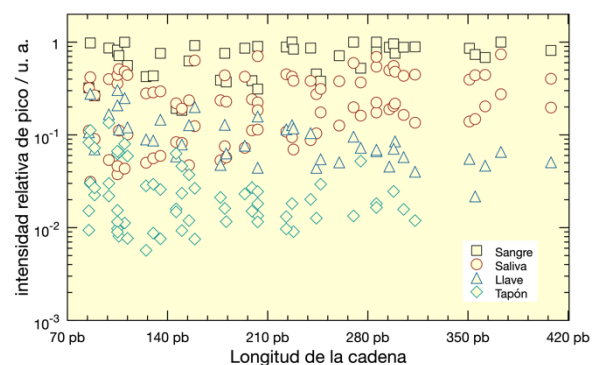


Figura 79. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 50 kGy..

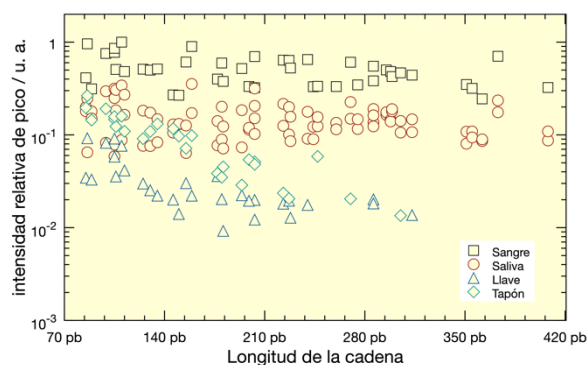


Figura 80. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 100 kGy..

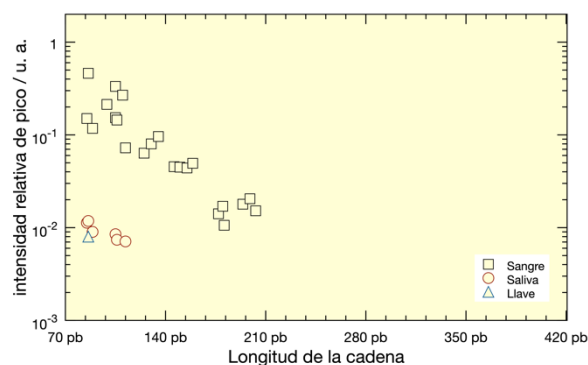


Figura 81. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 500 kGy.

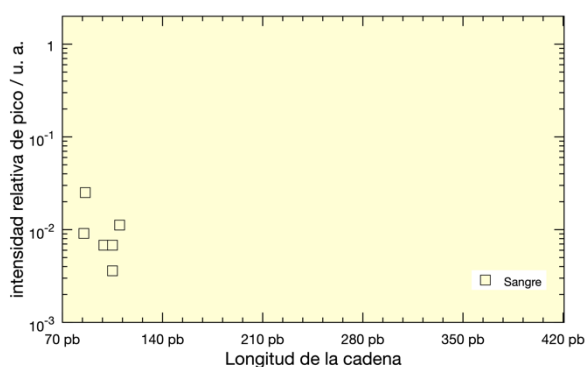


Figura 82. Intensidad relativa de picos de los alelos de los STR en función de los pares de bases y una dosis absorbida de 1 MGy.

De los resultados y su discusión presentados es este apartado de la memoria se demuestra que se ha alcanzado el segundo de los objetivos con los se planteó esta memoria de investigación.

4.2 Resistencia de las huellas dactilares a la radiación.

Este trabajo se planteó en base al estado del arte realizado y ya presentado con anterioridad en el apartado 2.5.2, donde se resumen los trabajos previos efectuados y se indica, partiendo de los trabajos de Monson y colaboradores (Monson, y otros 2018), ver Figura 22), los diferentes estudios elaborados y la prueba de que la existencia de un campo de radiación puede tener un efecto directo en la descomposición de los constituyentes de las huellas (lípidos, aminoácidos y proteínas) o en el propio sustrato, y cómo la resistencia de las mismas se podrá ver influenciada por la existencia de humedad durante el proceso de irradiación. Por este motivo fueron seleccionados los distintos materiales que se utilizan de soporte durante la irradiación y que se comentarán con posterioridad.

Como se ha descrito en el apartado 3.2.2 y 3.3, las series de muestras una vez impresas fueron trasladadas al CIEMAT con su correspondiente documentación de cadena de custodia para ser radiadas en la Náyade. Al objeto de poder realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos, cada muestra fue dividida de manera axial en 2. La mitad izquierda, marcada con la letra "A", fue irradiada hasta el valor de dosis absorbida designado y la mitad "B" se conservó a temperatura ambiente (ver Figura 83, Figura 84, Figura 85, Figura 86, Figura 87). Es importante indicar que debido a la programación de trabajos en la IR, las muestras tuvieron que ser almacenadas en condiciones controladas y estables antes de su irradiación (en algunos casos dicho período superó el mes). Llegado este punto es importante recordar que en las huellas dactilares no existe información genética alguna, es decir, no contienen perfiles genéticos ni STR, sino que simplemente se observa si las mismas se pueden revelar o no. Tampoco se incluye en esta memoria de investigación discusión alguna sobre la fase de comparación, ya que dicho estudio se encuentra fuera del objetivo de la memoria y que como ya se ha explicado anteriormente depende de muchas variables, que abarcan desde la naturaleza del propio donante a las condiciones a las que haya estado expuesta la muestra.

Los grupos de muestras de los que se presenta información en esta memoria de investigación se encuentran recopilados en la Tabla XX y la Tabla VIII, donde se indican las condiciones de irradiación correspondiente a cada uno de ellos. Es importante remarcar que al objeto de eliminar contribuciones indirectas producidas como consecuencia de la radiólisis del H₂O, las muestras se irradiaron en ausencia de humedad, permaneciendo precintadas en bolsas de plástico con cierre hermético que aseguraba la ausencia de humedad.

Tabla XX. Relación de evidencias de huellas cuyas resultados se presentan en la memoria de investigación y dosis total absorbida.

Tipo muestra	referencia	muestra	Dosis en kGy
Huellas	17/07369/031	1A-6A-11A-16A-21A	10
	17/07369/032	2A-7A-12A-17A-22A	50
	17/07369/033	3A-8A-13A-18A-23A	100
	17/07369/034	4A-9A-14A-19A-24A	500
	17/07369/035	5A-7A-15A-20A-25A	1000



Figura 83. Evidencias de huellas dactilares en papel de 100 g. A muestra irradiada, B sin irradiar



Figura 84. Evidencias de huellas dactilares en papel reciclado. A muestra irradiada, B sin irradiar

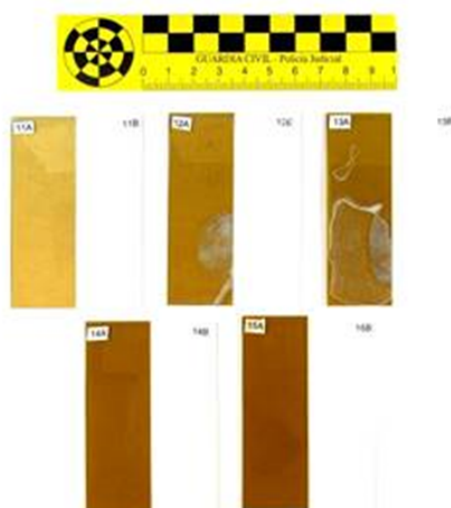


Figura 85. Evidencias de huellas dactilares en vidrio. A muestra irradiada, B sin irradiar

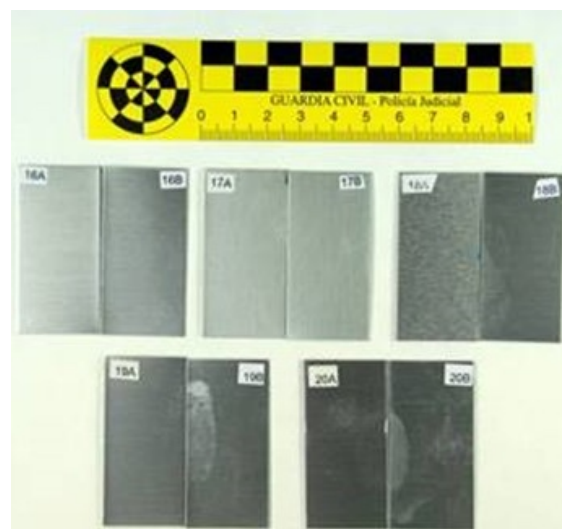


Figura 86. Evidencias de huellas dactilares en chapa de Al. A muestra irradiada, B sin irradiar

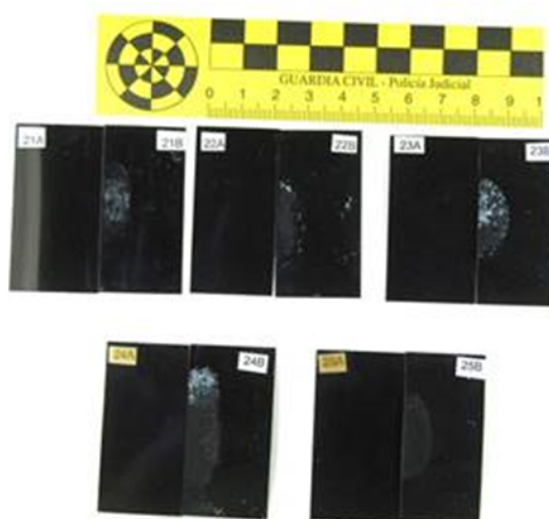


Figura 87. Evidencias de huellas dactilares en película de radiografía. A muestra irradiada, B sin irradiar

Una vez realizada la irradiación de las evidencias, un análisis organoléptico y comparativo de cada uno de los grupos de muestras correspondientes con los sustratos de papel de 100 g, papel reciclado, vidrio, metal (chapa de Al) y película para radiografía (ver Figura 83, Figura 84, Figura 85, Figura 86, Figura 87, respectivamente), manifiesta cómo en función de la naturaleza del material y del nivel de irradiación, es posible constatar los cambios de coloración producidos en materiales como el papel y el vidrio y sin embargo cómo el metal y la película para radiografía no presentan modificación alguna de sus características.

Tras la remisión de las huellas al laboratorio de criminalística de la Guardia Civil se procedió a su revelado utilizando los procedimientos y técnicas estandarizados. A continuación se realiza un análisis y discusión de los resultados obtenidos y un estudio comparativo de los mismos.

En la Tabla XXI se presentan las imágenes de las huellas digitales realizadas sobre papel de 100 g, e irradiadas sólo en la parte marcada con la letra A. En dicha tabla además se indica si se ha obtenido el revelado de la huella y si la calidad de la impresión latente desde el punto de vista de su análisis dactiloscópico varía o no. La metodología utilizada para el resto de los soportes será la misma.

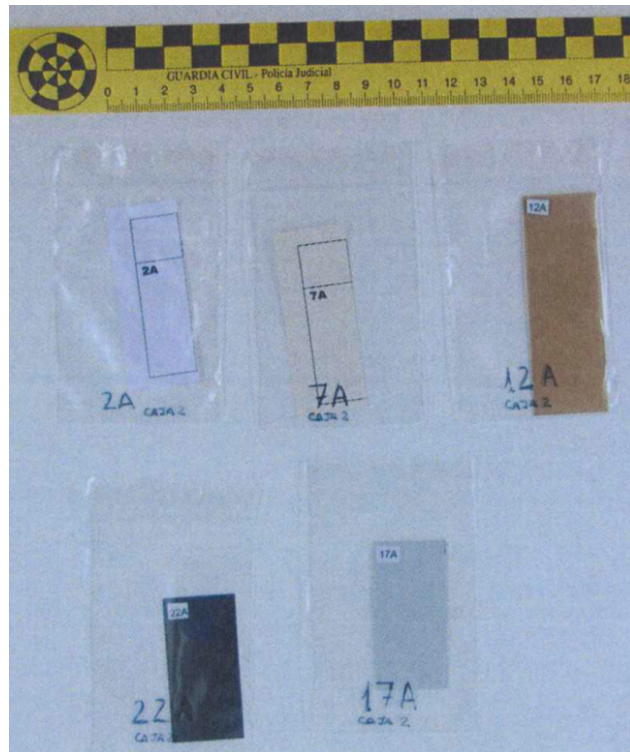


Figura 88. Evidencias de huellas irradiadas hasta una dosis absorbida de 50 kGy

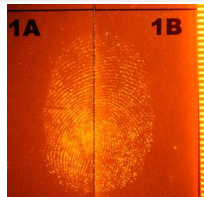
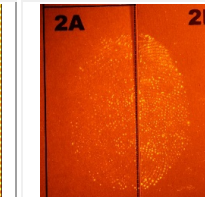
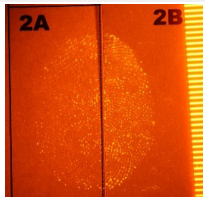
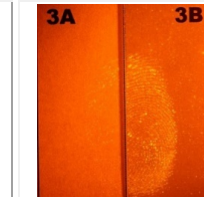
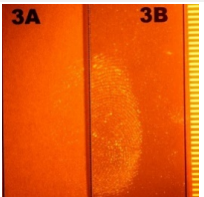

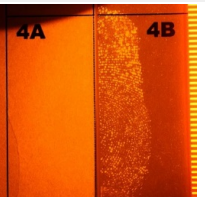
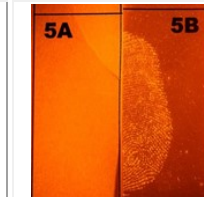
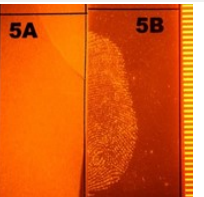

Una vez procedido al revelado, los expertos del Departamento de Identificación de la Guardia Civil realizaron un estudio de la huella con el fin de determinar si podría ser apta para la identificación en base a la calidad del revelado, nitidez de las crestas y visualización de puntos característicos. Por este motivo se marcarán algunas huellas como que revelan pero que no son aptas para identificar puesto que no tienen la calidad necesaria para distinguir los puntos característicos.

El procedimiento experimental empleado permite analizar de manera comparativa la influencia de la radiación en la huella, puesto que se parte de una impresión realizada en las mismas condiciones, almacenadas de manera similar e irradiadas a la vez, pero sacando cada una de las evidencias cuando éstas alcanzan los valores de dosis absorbida deseados. Como luego se discutirá, todos los materiales fueron manipulados con extremo cuidado, puesto que como consecuencia de la irradiación se ven modificadas sus propiedades mecánicas, volviéndose muy frágiles cuando han recibido las dosis más elevadas.

Como es fácilmente constatable a partir de la observación de las imágenes mostradas en la Tabla XXI, a medida que aumenta la dosis absorbida se observa una pérdida de la huella latente

impresa como consecuencia de la descomposición por la presencia de radiaciones ionizantes de las especies constituyentes de la misma y que ya no reaccionan de igual manera con el revelador DFO. Si bien, la muestra irradiada a 10 kGy conserva aún una buena calidad de la huella revelada, como indica Monson (Monson, y otros 2018) en su estudio se observa la existencia de zonas borrosas y algunas zonas sin crestas, que empiezan a ser más perceptibles en la evidencia irradiada hasta 50 kGy. Estos efectos aumentan hasta tal punto en la muestra radiada a 100 kGy que impiden su revelado con la calidad necesaria para poder trabajar a posteriori en la identificación del donante. Luego del estudio realizado se puede concluir que en el caso de evidencias sobre un papel estándar (100 g) las huellas digitales “en ausencia de humedad” presentan una resistencia a la radiación hasta valores de dosis > 50 kGy.

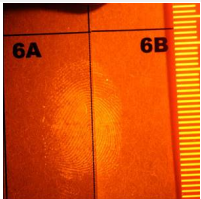




Tabla XXI. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de papel de 100 g, imágenes reveladas con DFO. Las imágenes marcadas con A corresponden a la mitad irradiada y la B a la no irradiada.

										
Dosis	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy					
A	Si revela	Si revela	No revela	No revela	No revela					
B	Si revela	Si revela	Si revela	Si revela	Si revela					
	Igual calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad					

Siguiendo la misma metodología, el papel reciclado (ver Tabla XXII) presenta una comportamiento idéntico al caso anterior, pero al ser éste un medio mucho más poroso y con una capacidad de absorción mayor, se observa que en ninguno de los casos la calidad de las huellas latentes reveladas tiene el nivel de definición alcanzando por las muestras sin irradiar recopilados en la Tabla XXI. Al igual que en el caso anterior se observan defectos en la impresión revelada generados por la radiación. Incluso la muestra irradiada hasta 10 kGy la muestra ha perdido bastante capacidad de ser empleadas para la identificación desde el punto de vista forense al no poderse distinguir con claridad los puntos característicos. Esta pérdida es absoluta para tasas de dosis superiores a 50 kGy.

A partir de los ensayos presentados en esta memoria de investigación se puede concluir que para el caso de muestras porosas (papel) y en las condiciones experimentales de irradiación en ausencia de humedad, almacén a temperatura ambiente y manipulación cuidadosa de las muestras en las que se ha realizado este trabajo de investigación, los huellas pierden su carácter identificador cuando la dosis absorbida por la muestra supera los 50 kGy.

Tabla XXII. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de papel reciclado, imágenes reveladas con DFO. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.

					
Dosis	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
A	Sí revela	Sí revela	No revela	No revela	No revela
B	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela
	Igual calidad	Igual calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad

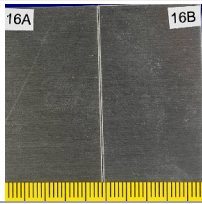
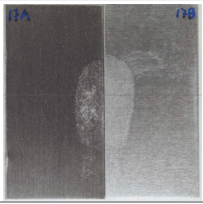
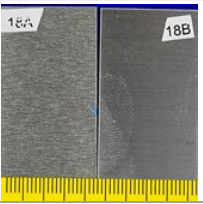
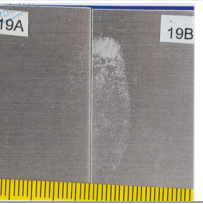
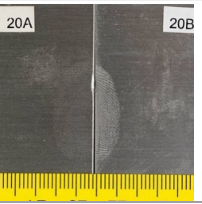
Sin embargo en el caso de las huellas impresas en soportes poco porosos y materiales no absorbentes (de humedad, o de otras especies químicas) el comportamiento observado fue sensiblemente diferente. Por ejemplo en el caso de las huellas latentes depositadas sobre vidrio (ver Tabla XXIII), en todos los casos ensayados las huellas muestran una resistencia a la radiación y, después del tratamiento, se constata su relativa inalterabilidad. Es cierto que tras una revisión detallada se observan zonas borrosas y con una definición algo peor que en el caso de la parte de la muestra sin irradiar, sin embargo, las huellas reveladas siguen siendo aptas para intentar la identificación del donante y fácilmente visibles debido al contraste tras el oscurecimiento del cristal radiado. Estos defectos aumentan a medida que se incrementa la dosis absorbida, por lo que se supone que en algún momento perderán las características que las hacen aptas para la identificación, sin embargo, al haberse establecido en 1 MGy el límite máximo de dosis absorbida ensayado en este trabajo, no se ha determinado qué dosis marca el límite de utilidad de la evidencia. Los resultados experimentales obtenidos concuerdan con las experiencias publicadas en la bibliografía (Monson, y otros 2018).

Tabla XXIII. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de vidrio, imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada

					
Dosis	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
A	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela
B	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela
	B	Igual calidad	Igual calidad	A mejor calidad	A mejor calidad

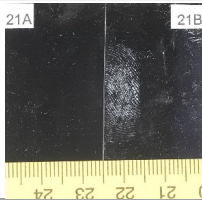
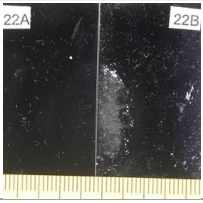
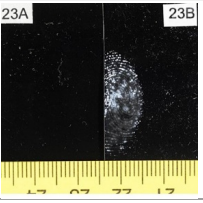
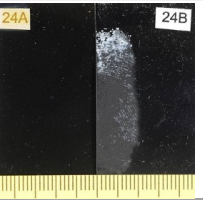
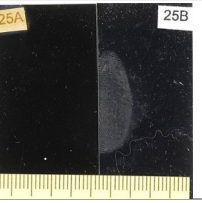
En el caso de las evidencias de huellas en soporte metálico, es decir chapa de Al (ver Tabla XXIV) cabría esperar un comportamiento similar al del vidrio pero, sin embargo, la realidad muestra que a partir de 100 kGy las muestras han perdido parte de su capacidad de identificación al no poderse encontrar fácilmente puntos característicos debido a la poca calidad del revelado. Posiblemente este efecto esté asociado a la radiólisis del H₂O, contenida en la superficie oxidada de la chapa de Al, como consecuencia de la formación de alúmina hidratada "Al₂O₃·nH₂O". Al no tratarse de una chapa anodizada, el agua retenida en dicha capa oxidada produce por radiólisis distintas especies y radicales que interaccionan y descomponen la huella, por lo que se produce su revelado borroso

Tabla XXIV. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de metal (chapa de Al), imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.

					
Dosis	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
A	Sí revela	Sí revela	No	Sí, baja calidad	Sí, baja calidad
B	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela
	Igual calidad	Igual calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad

En último lugar se presentan los resultados en evidencias de huellas realizadas en un material resistente a la radiación (película para radiografía), las imágenes obtenidas de los análisis realizados se muestran en la Tabla XXV. En este caso los resultados obtenidos muestran una gran similitud a los observados en las evidencias realizadas en papel de distintos tipos y en metal, y están en concordancia con los resultados publicados en la bibliografía (Monson, y otros 2018). La degradación de las especies químicas a partir de una dosis absorbida ≥ 100 kGy está relacionada con la interacción directa de la radiación con las especies químicas constituyentes de las huellas, produciendo la ruptura de las cadenas y su degradación estructural, y con la interacción indirecta con las especies y radicales producidos por la radiólisis de la estructura de la película y su posterior interacción con la huella. Llegados a este punto es importante recordar que la película está constituida por un soporte de material plástico recubierto por finas capas de haluros de Ag recubiertos por un barniz endurecido de gelatina. La descomposición por radiólisis de estos productos da lugar a la formación de especies reactivas y radicales es la que interaccionan con las huellas produciendo su descomposición.

Tabla XXV. Evidencias de huellas dactilares impresas en soporte de película para radiografía, imágenes reveladas con cianocrilato. Las imágenes marcadas con A corresponden a la muestra irradiada y la B a la no irradiada.

					
Dosis	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
A	Sí revela	Si- baja calidad	No	No	No
B	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela	Sí revela
	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad	B mejor calidad

Siguiendo con la metodología empleada para la evaluación y discusión de los resultados obtenidos en el caso del estudio del ADN, en la Tabla XXVI se muestran en función de la dosis absorbida por cada una de las evidencias y de la naturaleza del material de soporte, los resultados obtenidos una vez se revelaron las huellas. En este caso el mapa de color indica tanto la resistencia a la radiación de la huella como la calidad de la misma, siendo el significado del código de colores el siguiente:

- Verde – La huella irradiada presenta la misma calidad que la huella original y mantiene sus características que posibilitarían su identificación desde el punto de vista forense y judicial.
- Amarillo – La huella irradiada presenta una calidad baja con aparición de defectos (zonas borrosas o sin definición) lo que puede comprometer de manera muy sensible su proceso de identificación.
- Rojo – La huella irradiada no se ha revelado o los defectos han alcanzado tal magnitud que la misma ha perdido sus características hasta el punto que hacen imposible el proceso de identificación.

Tabla XXVI. Resistencia a la radiación de las huellas dactilares en función del material del sustrato y de la dosis total absorbida. Verde (se revela huella de calidad); amarillo (huella de baja calidad con zonas borrosas) y rojo (ausencia de huella).

Soporte de la evidencia	Dosis absorbida				
	10 kGy	50 kGy	100 kGy	500 kGy	1 MGy
Papel 100 g	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
Papel reciclado	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
Vidrio	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Metal (chapa de Al)	Verde	Verde	Rojo	Amarillo	Amarillo
Película para radiografía	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo

La primera conclusión que se extrae a la vista del siguiente gráfico (ver Tabla XXVI) y de los resultados mostrados en este apartado es que, como se demuestra después del proceso de revelado, la irradiación de las evidencias tiene un efecto tanto en las huellas como en el propio sustrato (esto último se discutirá al final de este apartado). Es importante para la discusión recordar que el análisis de la resistencia a la radiación de las huellas depende de muchos factores, como se indica en la bibliografía y ya se ha comentado con anterioridad (Monson, y otros 2018), pero los resultados se basan en la reacción del agente químico del revelado reacciona con los componentes principales de las huellas (es decir, aminoácidos, lípidos y proteínas), si dichos compuestos por cualquier causa o interacción han perdido dicha estructura original, los reactivos utilizados en el revelado no reaccionarán del modo esperado y mostraran desde una calidad del revelado baja a la ausencia del mismo.

Las imágenes obtenidas en esta memoria demuestran que para el caso de huellas impresas en papel reciclado o de 100 g, cuando la dosis absorbida es ≥ 100 kGy, se pierde de manera parcial e incluso total la huella impresa; un comportamiento similar se observa en el caso de las huellas impresas en película para radiografía y en chapa de Al. En el caso de las radiaciones impresas en vidrio, se constata unas imágenes algo borrosas y con zonas no definidas para dosis absorbidas ≥ 500 kGy, pero todavía útiles para pasar a la fase de identificación. Dichos resultados experimentales concuerdan con los publicados en la bibliografía (Figura 22 (Monson, y otros 2018)).

Una característica común que se observa en todas las evidencias reveladas es que a medida que aumenta la dosis absorbida se observa un detrimento paulatino de la calidad de la misma hasta, en algunos casos, su total desaparición. Es necesario resaltar que en el caso de las muestras reveladas en soporte de vidrio, con independencia de la dosis absorbida, la huella

radiada presenta una mejor calidad de imagen que la de la mitad sin irradiar. Esta anomalía puede estar asociada con la coloración del vidrio (opacidad), pasando de transparente a marrón oscuro, haciendo que el contraste del revelado con cianocrilato sea más patente. Este cambio colorimétrico se basa en las propiedades del vidrio interactuando con las radiaciones gamma (Hoile 2010). No obstante, pese al mayor contraste, aparecen zonas borrosas en el revelado, por lo que no es demasiado aventurado suponer que conforme aumente la dosis, la calidad de la huella revelada seguirá el proceso normal llegando a perder totalmente su capacidad de identificación.

De los resultados presentados y su discusión presentados se demuestra que se ha alcanzado el tercero y último de los objetivos con los que inicialmente se planteó esta memoria de investigación, medirse los umbrales de dosis absorbida a partir de los cuales se produce una pérdida de calidad en la imagen de la huella.

Por último se muestran algunos ejemplos de la fragilidad inducida como consecuencia de la dosis absorbida en los materiales soporte utilizados tanto en el caso de evidencias de ADN como de huellas dactilares (Figura 89, Figura 90 y Figura 91, respectivamente). Esta fragilidad debe tenerse en cuenta en la escena del delito a la hora de recoger las evidencias.



Figura 89. Imagen de los tapones fracturados irradiado a 500 kGy



Figura 90. Imagen de fracturado papel de 100 g y reciclado irradiado a 100 kGy.

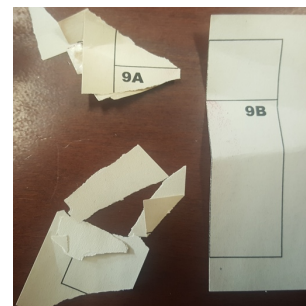


Figura 91. Imagen de la evidencia sin irradiar e irradiada a 1 MGy después de ser doblada.

4.3 Aplicación de los resultados obtenidos. Caso práctico.

En este trabajo de investigación se viene repitiendo de manera frecuente su eminente orientación práctica. Por este motivo se considera relevante realizar, a modo de ejemplo, lo que supondría en un escenario real la aplicación de las conclusiones y recomendaciones reflejadas y obtenidas en esta memoria.

Con el fin de dar un enfoque lo más realista posible, se ha escogido como escenario para la aplicación de las conclusiones y recomendaciones el definido en el año 2013 para el ejercicio de mesa REMEX (Radiological Emergency Management Exercise). Este ejercicio fue diseñado y ejecutado por especialistas tanto en el ámbito de la seguridad física nuclear, nuclear *security*, como de la seguridad radiológica, *safety*⁵⁶, por lo que se considera totalmente idóneo y de

⁵⁶ El REMEX-13 trató de unir expertos en materia policial y de defensa con expertos en materia radiológica, salud pública y comunicación social en un mismo equipo para la solución conjunta de una situación de emergencia (Quiñones, Saez de Vergara, y otros 2103)

aplicación para poner en práctica las recomendaciones expuestas. Además este escenario es más realista que plantear cualquier otro diseñado exprofeso para este trabajo, sin duda peor elaborado, y del que no se dispondría de tantos datos.

4.3.1 Descripción general del TTX – REMEX 13

El REMEX⁵⁷ se planteó como un ejercicio para la reflexión sobre las consecuencias transnacionales de un atentado terrorista con dispersión de material radiológico y mejorar la preparación para la prevención, detección y respuesta ante estos potenciales actos malintencionados. Por su contenido y alcance, fue enmarcado dentro de la colaboración internacional en base a la cooperación bilateral en temas de seguridad entre el Reino de España y el de Marruecos, e incluido dentro de las actividades de la IGCTN, en concreto dentro del Grupo Técnico de Respuesta y Mitigación, y en los seminarios de cooperación técnica en asuntos nucleares, además de contar con el apoyo y participación de expertos del OIEA y observadores internacionales.

Los objetivos planteados eran los siguientes (Quiñones, Saez de Vergara, y otros 2103) (Baeza, y otros 2013) (Vico, y otros 2013):

- Evaluar las capacidades nacionales en materia NRBQ en escenarios de terrorismo con uso de sustancias peligrosas, en aplicación del principio de optimización de medios y recursos.
- Revisar los mecanismos y procedimientos operativos en la respuesta y mitigación ante emergencias radiológicas originadas por actos ilícitos.
- Detectar fortalezas y vulnerabilidades en orden a desarrollar buenas prácticas y técnicas operativas.
- Evaluar las capacidades existentes para el análisis forense nuclear, con el fin de chequear las necesidades de cara al futuro.
- Mejorar los procedimientos para el intercambio de información a nivel internacional en orden a la identificación de materiales radiactivos objeto de tráfico ilícito.

El supuesto planteado en el ejercicio de mesa (TTX) era el de un ataque terrorista con dispersión de material radiactivo mediante un RDD o bomba sucia durante la realización de la Operación “Paso del Estrecho”, OPE, dispositivo complejo que se organiza todos los años en el momento en que el puerto de Algeciras presenta su mayor actividad en cuanto al tránsito de personas y vehículos motivado por el movimiento de ciudadanos magrebíes procedentes de países europeos a sus países de origen y su posterior retorno a los países de residencia.

Para ello se planteó una amenaza creíble, consistente en una organización terrorista de la que se sabía que había obtenido mediante tráfico ilícito de material radiológico una fuente de gammagrafía industrial y pretendía preparar un coche bomba para la dispersión de este material. Las acciones preventivas fracasaron y se produjo la explosión del coche bomba en el puerto de Algeciras, causando pocos daños humanos y materiales directos, pero consiguiendo dispersar en la atmósfera sustancias radiactivas que podían resultar en dosis que excedieran los niveles de

⁵⁷ El REMEX se dividió con dos escenarios deslocalizados: el puerto de Algeciras y el de Tanger Med. En este trabajo tan solo se analizará el escenario español.

intervención para la adopción de medidas de protección urgentes y generando una significativa contaminación medioambiental, además de impactos psicológicos sobre la población e impactos económicos.

El escenario se elaboró con datos basados en los antecedentes del año anterior, tanto a nivel de flujos de personas y vehículos como de condiciones meteorológicas.

Para la ejecución se establecieron dos fases:

- Fase 1: en la que se consideró la respuesta de emergencia inicial y urgente ante la explosión del coche bomba.
- Fase 2: correspondiente a la gestión de la incidencia cuatro días después de las explosiones, cuando se había estimado la pluma de contaminación, se habían adoptado medidas iniciales de protección de personas y bienes, se estaban desarrollando actuaciones de investigación forense y se había efectuado la caracterización radiológica medioambiental.

4.3.1.1 Condiciones del ejercicio.

A continuación se describen las variables consideradas en el cálculo realizado con los códigos HotSpot⁵⁸ (Homann y Aluzzi 2014) e IXP⁵⁹ (NARAC 2013):

- **Datos del explosivo:** Se considera un explosivo equivalente a 5 kg de TNT.
- **Coordenadas geográficas:** Algeciras: 36.12866° N, 5.44430° W
- **Datos meteorológicos:** El suceso ocurrió a mediodía del día 1 de septiembre de 2013, suponiendo una temperatura de 25°C y condiciones atmosféricas de estabilidad (clase D de Pasquill). La velocidad del viento fue de 5 m/s y se consideraron las direcciones del viento en Algeciras: 245° (OSO).
- **Datos de la fuente radiactiva:** En el presente documento se ha seleccionado una fuente de ⁶⁰Co, pero se sometieron a consideración el empleo de dos actividades:
 - 37 TBq (<> 1000 Ci) actividad alcanzable con la suma de varios equipos de radiografía industrial.
 - 10 TBq (<> 270 Ci) obtenida de un dispositivo de radiografía industrial comercial.

Se considera que en la explosión se liberó al medioambiente toda la radiactividad de la fuente en forma de aerosol, sin ningún sistema de retención de partículas y con una fracción respirable (diámetro aerodinámico de la mediana de la actividad, AMAD < 1 µm) del 20 %.

La velocidad de depósito de las partículas de la fracción respirable es 0.30 cm/s, en tanto que la velocidad de depósito de las partículas de la fracción no respirable es de 40.00 cm/s.

⁵⁸ Programa de acceso libre desarrollado en el Lawrence Livermore National Laboratory's National Atmospheric Release Advisory Center, NARAC (EUA): <https://narac.llnl.gov/HotSpot/HotSpot.html>. El objetivo del programa es proporcionar un conjunto de herramientas rápidas, fiables y portátiles a las personas implicadas en la planificación y respuesta a emergencias para evaluar las consecuencias de incidentes que supongan la liberación a la atmósfera de material radiactivo.

⁵⁹ International Exchange Program, o IXP, es un sitio web que provee a los estados miembros de la OIEA acceso a modelos de predicción en 3-D de las consecuencias de liberación de productos radiológicos elaborados en NARAC (National Advisory Releases Advisory Center) y otros Centros Globales de Evaluación de Dosis (Global Dose Assessment Centers).

4.3.1.2 Efectos.

4.3.1.2.1 Caso 1. Término fuente de 37 TBq (≈ 1000 Ci)

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las modelaciones realizadas. Como se puede observar en el caso de la deflagración en Algeciras (la Figura 92 corresponde con la modelación realizada con IXP) la explosión afectaría a la zona portuaria. Hecho del todo punto coincidente con los datos obtenidos en la modelación realizada con HotSpot.

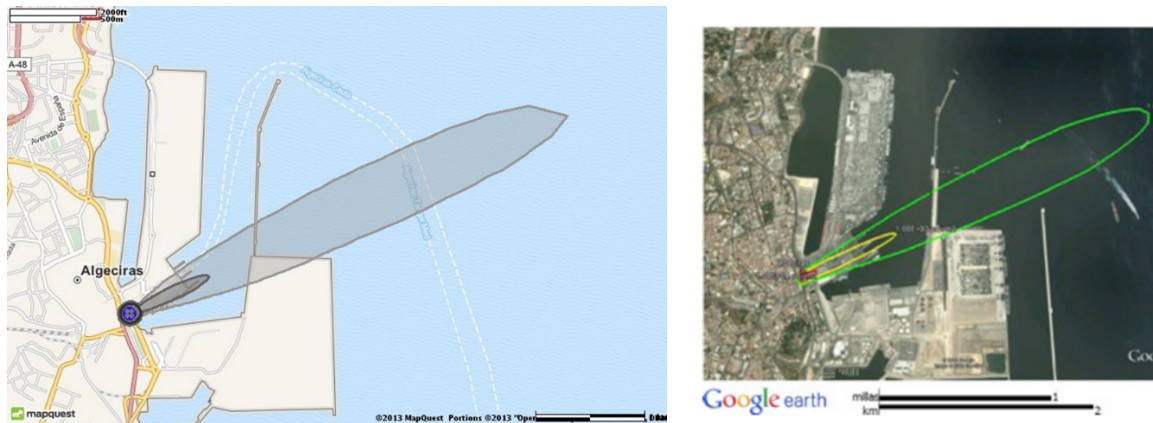


Figura 92. Difusión de la pluma de contaminación radiológica utilizada en el ejercicio de mesa REMEX 13 (Algeciras, Reino de España). Visión en plano y sobre imagen vía satélite.

4.3.1.2.2 Caso 2. Término fuente de 10 TBq (≈ 270 Ci)

Seguidamente se recopilan a modo de resumen los resultados y datos obtenidos de la modelación de la migración de la contaminación de radionucleidos realizada con el código HotSpot (Homann y Aluzzi 2014) para una actividad de 10 TBq.

En la Figura 93 se resaltan las zonas afectadas definidas en función de la tasa de dosis por la deflagración para la localización considerada en función de los criterios internacionales establecidos para la clasificación de zonas en caso de emergencia según la Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo radiológico (BOE 2010) (OIEA 2015) (OIEA y WHO 2005).



Figura 93. Dispersión de la contaminación en el REMEX 13 (Algeciras) para el caso 2 en el que se indica el límite de la zona de alerta (tasa de dosis > 0.1 mSv·h).

4.3.1.3 Parámetros de utilidad para clasificar el escenario radiológico

En la Tabla XXVII se describen los datos relevantes para la actuación en el TTX y que permiten definir este escenario desde el punto de vista radiológico.

Tabla XXVII. Resultados obtenidos en la modelación cuando se considera la deflagración de un paquete de 5 kg de TNT equivalente, una velocidad de viento de 5 m/s

Parámetro	Caso 1	Caso 2
	10 TBq de ^{60}Co	37 TBq de ^{60}Co
Dosis Máxima 96 h	1,8 Sv	6,8 Sv
Límite de Evacuación (50 mSv)	200 m	520 m
Altura de la nube	138 m	138 m
Distancia segura	274 m	274 m
Límite de medidas urgentes (> 5 mSv/h)	30 m	97 m
Límite de la zona de alerta (> 0,1 mSv/h)	800 m	2,2 km
Alcance contaminación > 10 MBq/m ²	950 m	2,4 km

Centrándonos en el caso más favorable, esto es, en que el DDR estuviera constituido por un término fuente con una actividad de 10 Tbq de ^{60}Co , la simulación de los efectos sería la que se muestra en la Figura 94, Figura 95, Figura 96 y Figura 97 (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013):



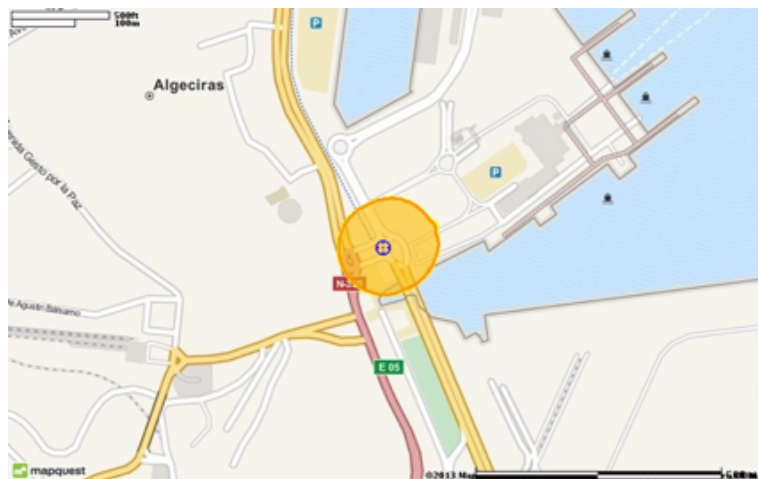
Efectos Acciones				
Descripción	Nivel / mSv/h	Extensión / km	Área / km ²	Población
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 1	0.1	0.03	430
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 0.001	0.8	0.1	660
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 0.0001	4.4	2.0	710

Figura 94. Tasa de dosis a 1 h de la explosión. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).



Efectos Acciones				
Descripción	Nivel / MBq/m ²	Extensión / m	Área / m ²	Población
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 1000	30.6	50	0
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 1	140	36192	600
No directrices específicas. Posibilidad de área contaminada. Para confirmar monitorizar	> 0.10	1107	162238	670

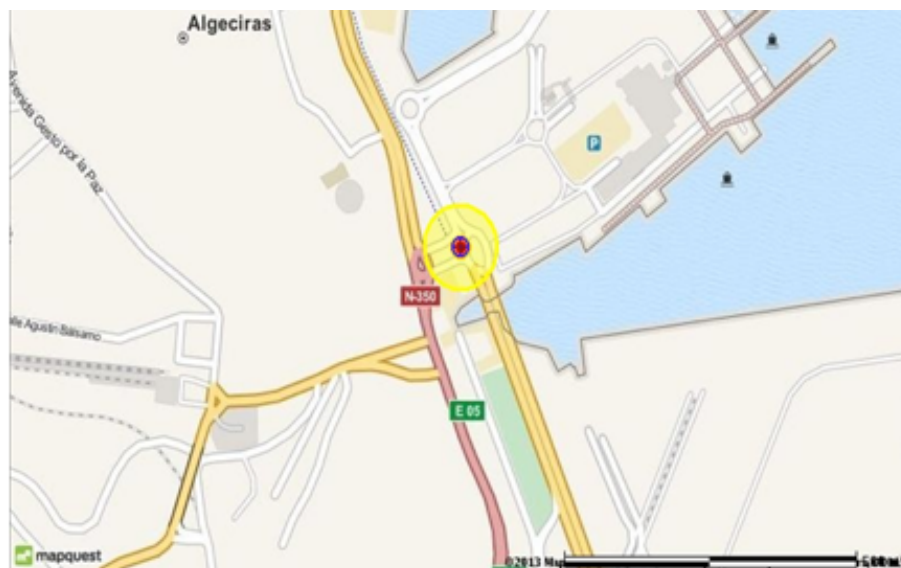
Figura 95. Deposición total. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).



Acciones y efectos a largo plazo				
Descripción	Nivel / mSv	Extensión / m	Área / m ²	Población
Excede a los 7 d para evacuación, descontaminación urgente y restricción de consumo de comida, leche y agua. (Tabla 2 (OIEA y WHO 2005))	> 50	115	30461	510
Excede a los 2 d para confinamiento (Tabla 2 (OIEA y WHO 2005))	> 10	120	31198	520

Figura 96. Dosis efectiva total a los 2 y 7 días. Las áreas y valores son acumulativos (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).

Por su parte, los efectos de la explosión, tal y como ya se ha establecido en distintas ocasiones a lo largo de este trabajo, son mucho más limitados.



Explosión			
Descripción	Nivel / psi	Extensión / m	Área / m ²
Víctimas en el 99% de la población.	>100	4	50.0
Letalidad	>25	6.7	142
Daños pulmonares	>10	10.2	328
Ruptura de tímpanos	>5	15.4	745
Cristales rotos por la explosión	>0.5	62.4	12216

Figura 97. Efectos de la explosión. Las áreas en la tabla son acumulativas (Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2013).

En base a todos los datos anteriores, aplicando las conclusiones extraídas en el presente trabajo, lo primero que hay que tener en cuenta es que la respuesta a un ataque terrorista con utilización de un RDD en una zona urbana requiere la adopción de medidas de seguridad y protección sobre la población y los bienes, por lo que en primer lugar se debe llevar a cabo el cierre de la zona, estableciendo un perímetro de seguridad en base a los datos obtenidos del ejercicio de no menos de 270 m ($< 100 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$). A continuación se establecerá una zona de trabajo para las unidades especializadas que irá desde los 270 m hasta aproximadamente los 100 m del lugar de la explosión (entre $10 - 30 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$) (BOE 2010). Un esquema de esta clasificación de zonas se muestra en la Figura 10 y la Figura 13.

Es fundamental tener en cuenta que la zona de intervención se convierte en la escena del delito, y por tanto todas las actuaciones deben posibilitar la investigación del suceso, incluyendo las actuaciones de respuesta táctica, medidas de control y seguridad, inteligencia e investigación forense; sin embargo, al mismo tiempo la zona de intervención se convierte en una zona de exposición de emergencia con riesgo radiológico grave para las personas y, por tanto, las actuaciones incluyen evaluación del riesgo, adopción de medidas de protección urgentes a la población y medidas de autoprotección de actuantes, la descontaminación masiva de personas y la descontaminación medioambiental, que se presentan como retos por la gran incertidumbre en la fase inicial en cuanto a la información radiológica.

Al tratarse de un acto terrorista el mando operativo en la zona de actuación lo debe ejercitar el órgano de las FFCCSE competente, que asumirá la coordinación de todos los actuantes de los

diferentes servicios previstos en los planes de emergencia, normalmente definidos como de primera intervención, es decir: policías, bomberos, médicos, protección radiológica, etc., que deban intervenir en la zona afectada. El mando operativo ejercerá sus funciones desde un puesto de mando avanzado.

4.3.2 Actuación de la Guardia Civil (Guardia Civil 2015).

Aplicando lo expuesto en capítulos anteriores, la actuación de la Guardia Civil durante todo el proceso sería la siguiente:

4.3.2.1 Actuación inmediata tras la explosión. H a H+1

Al tener la explosión lugar en el puerto, un recinto controlado con presencia de la Guardia Civil, la respuesta será muy rápida. El puerto de Algeciras cuenta de forma permanente con un destacamento de la Guardia Civil encargado de la seguridad y del control aduanero de las mercancías. En el momento de la explosión, por situarse en plena operación Paso del Estrecho, este destacamento se encuentra reforzado por personal de la Agrupación Rural de Seguridad, equipos cinológicos para la detección de drogas y explosivos y Técnicos de Desactivación de Artefactos Explosivos, TEDAX.

El primer conjunto de medidas a adoptar será aquel encaminado a la protección, esto es, evitar o al menos atenuar las consecuencias inmediatas sobre la población.

En el momento de producirse la explosión, los agentes más próximos se desplazarán al lugar para identificar su origen. De forma inmediata descubrirán que se trata de un coche bomba, sin que puedan precisar todavía la cantidad de explosivo, su composición y si contenía materiales NRBQ. Inicialmente no se podrá saber que se trata de una bomba sucia, ya que como es bien sabido, la radiactividad no se puede detectar por los sentidos: no huele, no sabe, no se escucha ni se palpa. Además no existe una causa efecto inmediata, como es el caso del explosivo, es decir, no va a generar bajas ni alarma.

A partir de ese momento se llevan a cabo una serie de actuaciones de forma inmediata:

Se efectuará una llamada al COS para dar la novedad⁶⁰, refiriendo cuanta información se disponga en ese momento. El COS comunicará lo sucedido al Jefe de Comandancia, el cual lo elevará a sus superiores y al Subdelegado del Gobierno. Al mismo tiempo solicitará los apoyos necesarios, propios y externos al Cuerpo, como son ambulancias o equipos de bomberos. También, debido a que sin duda se trata de un acto terrorista, activará los protocolos existentes para este tipo de situaciones, activando el cierre de la provincia y facilitando la información a aquellos organismos e instituciones que tengan la necesidad de ser informados.

Entre las unidades activadas se encuentra el Servicio de Información de la Guardia Civil, SIGC, responsable de la lucha antiterrorista a nivel nacional, el cual asumirá la investigación del suceso, apoyado por los equipos de policía judicial.

⁶⁰ Este es el término que se emplea habitualmente en la Guardia Civil y en las Fuerzas Armadas para informar de un suceso.

Volviendo al puerto, se procederá a la adopción de medidas urgentes, esto es, aquellas que hay que adoptar de forma rápida para que sean eficaces y cuya efectividad disminuiría de manera significativa en caso de demora. La toma de decisiones sobre la adopción de medidas de carácter urgente ha de realizarse teniendo en cuenta que la información que se posee en estos momentos es fragmentada y escasa. Son medidas que están concebidas para ser aplicadas durante un periodo de tiempo corto, sin perjuicio de que puedan mantenerse activas durante un periodo más largo.

Entre estas medidas se encuentran:

- Atención de los heridos, socorriéndolos en la medida de lo posible y organizando su evacuación. Debido a la cantidad de explosivo, tan solo 5 kg de TNT, el radio de la explosión será mínimo, determinando un índice de letalidad del 25% a 6,7 m. Como quiera que el explosivo no tiene más metralla que la propia producida por el vehículo, a partir de esa distancia se encontrarán heridos que no revestirán excesiva gravedad.
- Establecimiento de un perímetro de seguridad. Los agentes aislarán la zona ante la posibilidad de nuevas explosiones, para ello evacuarán ordenadamente a todo el personal no afectado presente en el puerto y que no esté realizando una actividad esencial.
- Se tomará la filiación a los posibles testigos y se les tomará una declaración previa y rápida por si dispusieran de algún dato de valor que pudiera llevar a la identificación inmediata de los autores.
- Control de accesos. Se cerrará el acceso al puerto, tanto por tierra como por mar, y se habilitarán carriles de acceso para los servicios de emergencia.
- Evaluación de la amenaza y riesgo inicial asociado a la misma. Los equipos cinológicos de detección de explosivos peinarán la zona con el apoyo de los TEDAX. Al mismo tiempo estos técnicos efectuarán un estudio previo del explosivo empleado.

Del estudio preliminar efectuado por los TEDAX, contrastado con la información del SIGC en la que se sabía que un grupo terrorista disponía de material radiactivo, se determina que la explosión ha consistido en un RDD si bien todavía sigue sin conocerse el isótopo empleado, aunque se sospecha que el mismo pudiera ser ^{60}Co , ya que es el material robado.

4.3.2.2 Valoración de la situación. H+1.

Con este cambio en el escenario, se informa inmediatamente a la UT-NRBQ y al oficial con formación NRBQ nivel III de la Comandancia. Este oficial es el primer responsable cualificado que se va a personar en el lugar de los hechos y por tanto será el encargado de adoptar las medidas necesarias en tanto sea relevado por la autoridad policial o política que corresponda.

Inmediatamente se activa al personal con nivel I de la Comandancia y se les envía para que establezcan un perímetro en torno al coche bomba de 400 m, de acuerdo con el protocolo⁶¹. Las unidades de Comandancia se establecerán en la zona fría (tasa de dosis $< 0.3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) realizando su labor en la zona exterior del perímetro del incidente.

⁶¹ DDR en espacio abierto.

La primera medida que tomarán estas unidades es la autoprotección, equipándose con el EPI. A continuación el oficial o suboficial con nivel III procederá a valorar el incidente y, en este caso, solicitará el apoyo de otras unidades pertenecientes al sistema de defensa NRBQ con mayores capacidades. Esta solicitud se hará siguiendo los procedimientos establecidos por la Jefatura de Unidades Especiales y de Reserva de la Guardia Civil, JUER. Las unidades se activarán siguiendo los criterios de proximidad, inmediatez y capacidad.

Debido a la OPE, ya hay en zona personal de la ARS entrenado con nivel II y III. Es muy probable que, a raíz de la formación que se viene realizando en los últimos años con la OIEA sobre protección radiológica de grandes eventos, ya se contara en el puerto de Algeciras con medios para poder caracterizar una fuente radiactiva y medir los niveles de radiación. Si no fuera así, estos medios se traerían de la base de la ARS más cercana, en este caso Sevilla, por lo que en poco más de una hora podrían estar a disposición en Algeciras. Una vez equipados se constituiría una Unidad de Primera Intervención NRBQ, UPI, formada por personal de la ARS con instrucción en nivel II y III. A partir de este momento, el oficial jefe de la UPI se hará cargo de la coordinación de la emergencia NRBQ.

Este oficial estará en contacto permanente con la UT-NRBQ, la cual le asesorará e iniciará su desplazamiento a la mayor brevedad posible. A su llegada a zona, será esta Unidad la que ejercerá la dirección técnica de la incidencia, asesorará al mando y colaborará con la investigación para el esclarecimiento de los hechos.

A nivel policial, en menos de 2 h la zona se encontraría acordonada y se estarían realizando las mediciones necesarias para identificar el isótopo radiactivo y los niveles de radiación. La UPI trabajará en la zona templada, con tasa de dosis en el intervalo entre $100 - 0.3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, y caliente en las que la tasa de dosis sea $>100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Una vez efectuada la acotación de estas 2 zonas, en la zona templada se desplegará la estación de descontaminación, de donde saldrá el operativo de detección, identificación y toma de muestras, misiones que se realizarán en la zona caliente. El resto de unidades y apoyos permanecerán en la zona fría.

Desde el punto de vista de auxilio, no se deben retrasar las medidas de salvamento si se pueden realizar sin riesgo grave para los intervinientes (provocado por la radiación). Se debe limitar la entrada en la zona afectada solo al personal encargado de la respuesta, reduciendo así el número de intervinientes expuestos al riesgo. Este personal interviniente irá debidamente equipado y habrá sido informado de la situación, siendo supervisado para que respeten estrictamente el cumplimiento de las medidas de protección.

Se presupondrá que todas las personas provenientes de la zona acordonada están contaminadas, y se actuará en consecuencia, procediendo a su filiación y descontaminación.

Afortunadamente, la dirección del viento establecida para el ejercicio empujaría la nube radiactiva hacia el mar, no dispersándose en la ciudad. No obstante se procederá al desalojo de las viviendas y locales ubicados a menos de 200 m y se pasará aviso a todas las casas, comercios y cualquier tipo de establecimientos ubicados dentro del perímetro para que cierren las ventanas, apaguen el aire acondicionado y eviten salir a la calle hasta nuevo aviso. En aquellas viviendas en que se hubieran roto los cristales se les recomendará sellar las ventanas con plásticos y refugiarse en habitaciones interiores, si bien, conforme a los datos del ejercicio, estas

viviendas estarían en la zona que habría sido desalojada por encontrarse a menos de 65 m del lugar de la explosión.

Desde el punto de vista de mando y control, se comunicará la nueva situación de la amenaza a la Subdelegación del Gobierno, Instituciones y organismos que figuren en el protocolo, comenzando por la Sala de Emergencias del CSN, SALEM, y se establecería un Puesto de Mando Avanzado ubicado en la zona fría, justo donde termina la zona templada. En el PMA habrá permanentemente representación de la Subdelegación del Gobierno, de la Guardia Civil, CNP, DGPC, Puerto de Algeciras y cualquier otro organismo o agencia cuya presencia se considere necesaria.

Entre las instituciones y organismos que deben ser avisadas en esta emergencia se encuentran:

- Protección Civil.
- CNP y policía local de Algeciras, así como la policía portuaria.
- ENRESA.
- Instituto de Salud Carlos III.
- Unidad Militar de Emergencias.
- Instituto Tecnológico la Marañosa y
- Escuela Militar de Defensa NRBQ.

Al ser una emergencia radiológica, y exceder el ámbito de control de la CA de Andalucía, se constituirá un CECOPI, desde donde el Delegado del Gobierno de Andalucía dirigirá la emergencia. Este debe constituirse como órgano de dirección y declarar una situación inicial de emergencia que comprenda la coordinación de la toma de decisiones a nivel superior entre las distintas AAPP, la disposición de medios y recursos (tanto del nivel territorial afectado como del nivel central), el seguimiento y control de la realización de todas las actuaciones, la comunicación pública y la declaración del final de la situación de emergencia. El mando operativo en las zonas de actuación lo debe ejercer el órgano de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FFCCSE) competente, en este caso el Jefe de la Comandancia de la Guardia Civil de Algeciras, que asumiría la coordinación de todos los actuantes de los diferentes servicios, policías, bomberos, médicos, protección radiológica, judiciales, científicos, técnicos, especialistas, militares, etc., que deban intervenir en la zona afectada. El mando operativo debe ejercer sus funciones desde un PMA.

El PMA realizará la dirección operativa de la emergencia y desde él se dará aviso a los hospitales donde han sido trasladadas las víctimas, y se reconducirán las mismas a los hospitales de referencia en la provincia para tratar personas irradiadas o contaminadas.

Desde la Subdelegación del Gobierno en Cádiz se establecería una política de información pública. Por un lado se transmitiría información sobre lo ocurrido, evitando que empiecen a circular rumores alarmistas; por otro se darían recomendaciones sobre la forma de actuar, como por ejemplo cerrar ventanas, apagar aires acondicionados, cubrirse las vías respiratorias con mascarillas o pañuelos, etc.; y finalmente se darían recomendaciones de salud, instando a las personas que estuvieran cerca de la explosión a que se quiten la ropa que llevaban, la metan en bolsas de plástico cerradas y se dirijan a los hospitales que se indiquen para su revisión. Además, en todos los casos el público debería recibir una explicación en lenguaje sencillo de los riesgos que corre, las medidas que puede tomar para reducir los riesgos y las que se están tomando para

garantizar la seguridad de las personas y la protección de sus intereses. Este tipo de medidas informativas se aplican a cualquier suceso percibido como una emergencia por el público o los medios de comunicación. (OIEA 2010) (OIEA y WHO 2005)

Por parte de protección civil se establecerá una carpa de socorro y se instalarán equipos de descontaminación. En caso de no ser suficientes, se recurriría al apoyo de la UME, en concreto del GIETMA, Grupo de intervención en Emergencias Tecnológicas y Medioambientales, el cual dispone de excelentes equipos para trabajar en este tipo de situaciones.

Los equipos encargados de llevar a cabo la investigación iniciarían las entrevistas con las personas que pudieran tener información sobre lo ocurrido.

4.3.2.3 Intervención. H+2.

En estos momentos la zona del incidente se encuentra acordonada, evacuada y con los heridos atendidos. Se realizarían las mediciones de la radiación con los equipos de la UPI del GRS de la Guardia Civil, pudiendo acotarse mejor el perímetro. También se podría identificar el isótopo adosado al explosivo como ^{60}Co . Según los datos del ejercicio, con la información obrante en este momento se ampliaría la distancia segura a 274 m.

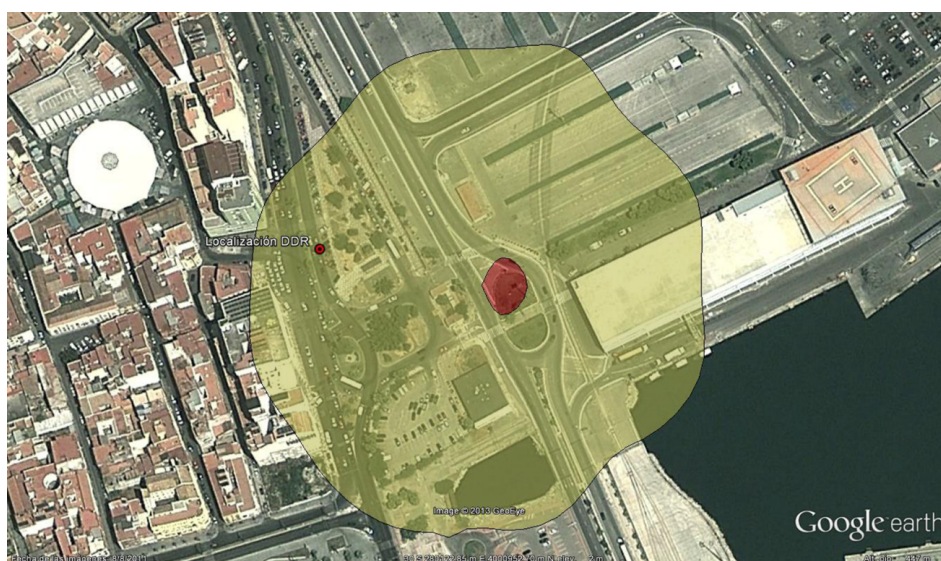


Figura 98. Área con más de $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ y con más de $5 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$, marcadas en amarillo y rojo, respectivamente (Quiñones, Saez de Vergara, y otros 2103).

Se llevará a cabo una nueva evaluación de las medidas de respuesta inicial en base a la evolución de la situación y se comprobará que todos los actuantes están cumpliendo las medidas de protección establecidas y que las directrices de protección al público están siendo aplicadas y cumplidas.

En la medida de lo posible se establecerá una reserva para el caso de materialización de un segundo suceso, toda vez que al tratarse de un atentado terrorista no puede descartarse otro ataque vinculado al primero.

Sería el momento de iniciar la inspección ocular del lugar, buscando indicios del tipo de explosivo utilizado y cualquier cosa que pudiera llevar a identificar a los autores del atentado. Se

tendrá en cuenta el principio ALARA de no exponer o realizar una operación innecesaria. Con respecto a la utilidad de las evidencias, si se considera una tasa de dosis máxima $5 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ según los datos del ejercicio, para alcanzar una dosis de 10 kGy haría falta que transcurriera un tiempo de $2\cdot 10^6 \text{ h} <> 228.3$ años. Luego en ningún momento se habrían superado los umbrales identificados en este trabajo para la pérdida de la capacidad identificativa de las muestras de ADN o huellas dactilares, por lo que se deberían recoger todas aquellas que se puedan encontrar en la escena del delito, así como aquellos otros objetos, como placas de matrícula, número de bastidor del vehículo, etc., que pudieran ser de interés para la investigación. Deberá tenerse en cuenta la posible fragilización de los materiales, en especial el papel y el plástico, como consecuencia de la radiación, si bien con la tasas de dosis absorbida, no supondrá ningún problema.

El operativo tendrá que estar en todo momento vigilante y medir de manera constante la tasa de dosis, primero por protección de los intervinientes y segundo por asegurar que no existen zonas con elevada tasa de dosis que pudieran haber alcanzado dosis absorbidas $\geq 50 \text{ kGy}$, lo cual supondría por ejemplo en el caso de evidencias de células epiteliales que se habría alcanzado el umbral de resistencia a la radiación medido en el ADN en piel. La posible destrucción de evidencias tendrá mayor relación con la explosión y posterior incendio que con la radiación que hubieran podido recibir.

Todas las muestras se reseñarían y se recogerían de acuerdo con los protocolos establecidos, y se embalarían de forma adecuada, teniendo en cuenta que estarían contaminadas. Al salir de la zona caliente los intervinientes y los envases de las muestras serían descontaminados, así como el resto de material empleado.

Las muestras de ADN obligatoriamente habría que enviarlas al laboratorio de JRC-Kallsruhe para su estudio, pues al estar contaminadas no podrían tratarse en los laboratorios de la Guardia Civil. Por el contrario, las huellas dactilares y otras muestras podrían llevarse al CIEMAT para su estudio en la caja de guantes que este centro ha puesto a disposición de la Guardia Civil.

A partir de este momento las labores de investigación policial serían las mismas que para cualquier otro caso de terrorismo.

Por lo que respecta a la vuelta a la normalidad, esa es una tarea de la que se ocupará principalmente la DGPCE. La Guardia Civil, al igual que las restantes fuerzas y cuerpos de seguridad, contribuirán al mantenimiento del orden público, ordenación del tráfico y cuantas labores se les encomienden, sin embargo las tareas de descontaminación de personas y bienes y las acciones para restaurar la normalidad a las actividades del puerto de Algeciras correrán a cargo de los organismos específicos de protección civil.

4.3.2.4 Investigación del suceso.

En algún momento la investigación dará resultado y se procederá a la identificación de los terroristas, así como a la localización del lugar donde se llevó a cabo el montaje del RDD. A esta situación se puede llegar desde diversos caminos, bien siguiendo las pistas del material radiológico sustraído, por las evidencias encontradas en el lugar de la explosión o por otras vías como pueden ser que los terroristas, fruto de las radiaciones recibidas, acudan a un hospital o simplemente que el propietario del lugar donde se confeccionó el RDD, al haberse ido los

arrendatarios, haya entrado y haya encontrado objetos sospechosos. De una manera o de otra, los actos delictivos graves y singularizados como éste no suelen quedar sin resolver.

Para la intervención en este local se precisaría una UPI, si bien, debido a la singularidad de la situación, sería probablemente la UT-NRBQ quien procediera a la intervención.

Como es habitual, en primer lugar se acordonaría la zona y se valoraría el riesgo de que los terroristas se encontraran en su interior. Si esta hipótesis fuera probable, sería la Unidad Especial de Intervención, UEI, la que realizaría el asalto para neutralizar a los terroristas.

Antes de la intervención recibirían un “*briefing*” (es decir, informe) de la UT-NRBQ, la cual establecería el equipo de protección radiológico necesario, que en este caso consistiría en máscara con filtro antipartículas y guantes, no siendo necesaria mayor protección. También serían instruidos sobre la posible presencia de material radiológico o contaminado, como puede ser el contenedor del equipo de gammagrafía industrial, y se les recomendaría mantener la distancia sobre estos elementos y procurar no tocar nada para evitar contaminación.

Terminada la intervención, tanto agentes como terroristas, así como su equipo, serían revisados y descontaminados si fuera necesario.

A continuación, con la preceptiva autorización judicial, se llevaría a cabo la inspección ocular del lugar y toma de muestras. En el caso del ejercicio REMEX el equipo del que se extrajo la fuente radiactiva podrían ser como se muestra en la Figura 99.

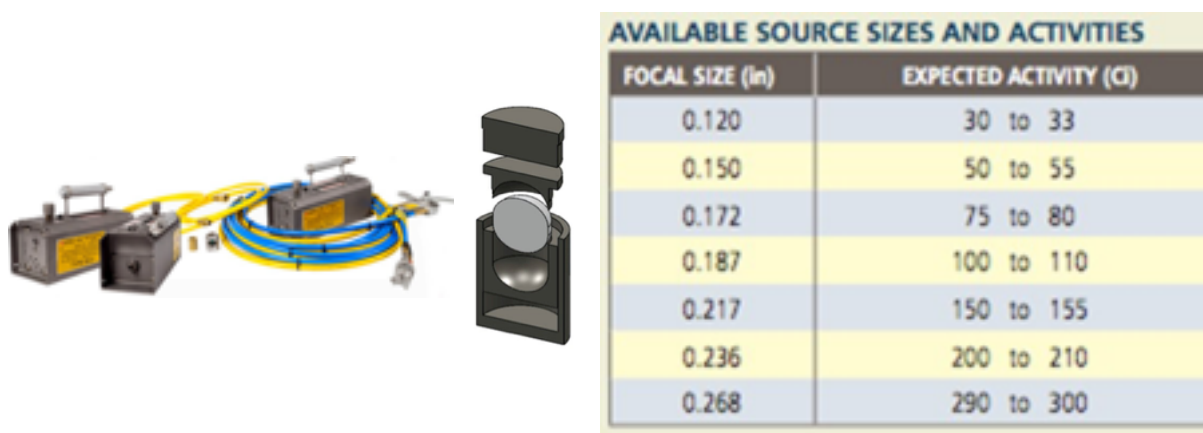


Figura 99. Imagen orientativa de un equipo de gammagrafía industrial y la fuente de Co en su interior. (CIEMAT 2013)

De los datos aportados en el ejercicio y de la definición del término fuente para el ejercicio REMEX como una fuente de 37 y de 10 TBq, las cuales y como hipótesis conservativa se supone que se encuentran en ausencia de blindaje, la tasa de dosis a 1 m sería de 14 y 3.79 MSv·h⁻¹, respectivamente.

En la Figura 100 se muestra la evolución de la dosis absorbida por un material situado a 1 m de la fuente de ⁶⁰Co, en función de la actividad considerada. Las líneas horizontales indican los límites de resistencia a la radiación de las muestras de ADN en sangre, del resto de muestras de ADN (saliva y células epiteliales), huellas impresas en vidrio y del resto de las huellas impresas en los distintos materiales evaluados en este trabajo de investigación. Como se puede observar, en

el caso 1 (37 TBq) se alcanzan valores de 100 kGy, 500 kGy y 1 MGy en tiempos de 26 s, 2 min y 26 s y 4 min y 17 s, respectivamente; mientras que cuando se considera una fuente como las de caso 2 (10 TBq) para los mismos valores de referencia los tiempos son de 1 min y 35 s, 7 min y 55 s y 15 min y 50 s, respectivamente.

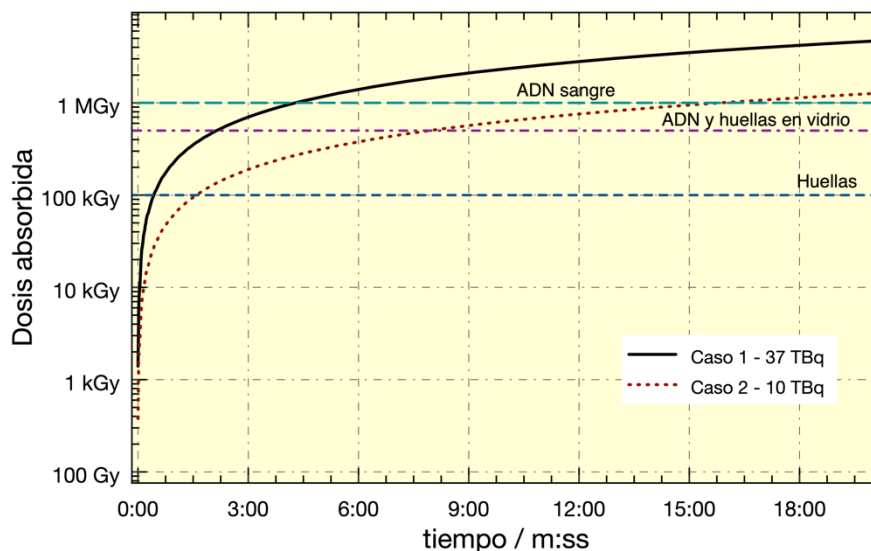


Figura 100. Evolución de la dosis absorbida por un material a 1 m de una fuente puntual de ^{60}Co , considerando una actividad total de 37 y 10 TBq. En la imagen se indican los límites de resistencia a la radiación del ADN y de las huellas digitales determinados en este trabajo.

Dado que los tiempos calculados para alcanzar los límites de pérdida de la capacidad de identificación del ADN en sangre apuntan a un corto espacio de tiempo, inferior a una hora, no merecería la pena a los investigadores exponerse a la posible radiación para recoger muestras de ADN en las inmediaciones donde estaba localizado el DDR, pues estas estarían degradadas y no tendrían utilidad. Aun considerando que la fuente se extrajera en el preciso momento en que fuera a realizarse el ensamblaje del RDD, y una vez montado se efectuara su traslado inmediato al vehículo en el que se producirá la explosión, el tiempo transcurrido en la operación sería suficiente para que la dosis absorbida por las posibles evidencias de ADN superara el umbral de degradación.

Por lo que respecta a las huellas dactilares, éstas soportan la radiación en función de la resistencia del sustrato en el que estén depositadas. Por este motivo no habrá que buscar huellas en papel o cartón, puesto que este material al ser radiado adquiere una fragilidad que hace inviable su estudio, pero sí deberán buscarse en cristal o metal, pero en las zonas más alejadas de las inmediaciones del DDR.

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y su discusión en este trabajo de investigación, se demuestra que se han conseguido todos los objetivos con los que inicialmente se planteó este trabajo de investigación, y además se extraen las conclusiones siguientes:

- Se han medido y determinado unos límites de dosis absorbida a partir de los cuales las evidencias pierden su capacidad probatoria desde el punto de vista forense y judicial, que son los siguientes:
 - Para el caso de evidencias de ADN los límites de dosis absorbida en evidencias de sangre, saliva y células epiteliales se corresponden con valores de 1 MGy, 500 kGy y 100 kGy, respectivamente.
 - En el caso de huellas digitales los límites de dosis absorbida son: en papel 100 g, papel reciclado, chapa de Al y película radiográfica, de 100 kGy, mientras que el en vidrio se pueden revelar huellas radiadas hasta con 1MGy, si bien a partir de 500 kGy su capacidad de identificación es muy limitada.
- A partir de las medidas de la resistencia a la radiación ionizante del ADN se comprobó que sus resultados dependen tanto de la naturaleza de la célula del cuerpo de que se trate, como del ambiente en donde se produzca la radiación. Así, de los ensayos realizados se ha observado que soporta mucho mejor la radiación el ADN de las células sanguíneas, seguido del de las células salivares, para terminar con el de las células epiteliales.
- Los electroferogramas realizados han demostrado que el comportamiento frente al incremento de la dosis absorbida de los STR en función del tipo de célula, está influenciado por la concentración en ADN de la célula donante.
- A partir de las medidas realizadas se demostró que los STR más largos son más sensibles a su descomposición estructural como consecuencia de procesos de radiólisis. Así los STR D16S539, CSF1PO, TPOX, D18S51, DY6391, FGA, D7S820, SE33 y D2S1338 son los que han perdido antes su capacidad de identificar los alelos. Por su parte los STR D10S1248 y D2S441 son los que demostraron una mayor resistencia a la radiación.
- Los resultados obtenidos demuestran la ausencia de nuevos picos de alelos producidos como consecuencia de los procesos de irradiación, por lo que las muestras no generarán falsas exclusiones y permitirán la identificación en tanto que conserven el mínimo número de marcadores determinado por la jurisprudencia, que actualmente está fijado en 9 más la amelogenina.
- La investigación realizada en relación con la resistencia a la radiación de las huellas dactilares reveló que su resistencia es directamente dependiente del sustrato en el que están depositadas. Así, el papel de 100 g, reciclado, metal y el plástico son más

sensibles al incremento de dosis absorbida. Mientras que aquellas impresas en el vidrio no sufren tanto las consecuencias de la presencia de campos de radiación ionizante, por lo que las huellas sobre estas superficies se conservan, llegando a darse el caso de que las huellas sobre el vidrio, al oscurecerse este por efecto de la radiación, presentan mayor contraste y por tanto revelan mejor que las originales sin radiar.

Por último pero no menos importante, la aplicación de estos límites de dosis para el caso de un ejercicio de mesa internacional “REMEX-13” demuestra de forma práctica el interés, aplicación y relevancia de la investigación realizada al demostrar su aplicación directa en las tareas rutinarias de las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado, su beneficio desde el punto de vista ALARA y de costes asociados tanto en tiempos de recolección de pruebas como de su análisis.

6. Actividades futuras

Como toda investigación, siempre quedan una serie de campos de interés o preguntas sin responder que podría ser interesante desarrollar. A continuación se detallan algunas de ellas:

- Mejorar la definición de los límites de resistencia a la radiación de las muestras de ADN y de las huellas.
- Estudio de posibles interferencias como puede ser la presencia de humedad, es decir, H₂O
- Comprobar si una vez radiadas las muestras de ADN, por el tamaño de las mismas, se trataría de muestras exentas y por tanto se podría trabajar con ellas en entornos de laboratorio normales.
- Efectuar estudios con otro tipo de muestras de ADN, como pueden ser óseas.
- Ampliar la investigación con huellas latentes en otros soportes o tratadas con distintos reactivos.

7. Bibliografía

- Abbondante, S F. 2009. *The effect of radioactive materials on forensic DNA evidence: Procedures and interpretation*. Camberra: Univerty of Camberra.
- Alaeddini, R, S J Walsh, and A Abbas. 2010. "Forensic implications of genetic analyses from degraded DNA. A review." *Forensic Science International: Genetics* 4 (3): 148.
- Antón y Barbera, Francisco de. 2009. «Las huellas dactilares a examen.» *Revista del Instituto Universitario de investigación en Criminología y Ciencias Penales de la Universidad de Valencia* (Universidad de Valencia) (2): 20-26. Último acceso: 2018. <http://www.uv.es/recri09/recri09n02.pdf>.
- Ayres, Ian, y Barry Nalebuff. 2015. «The rule of probabilities: A practical approach for applying Bayes'rule to the analysis of DNA evidence.» *Standford law review* 67: 1447-1503.
- Baeza, José Carlos, S Serrano, J C Sáez de Vergara, Alicia Álvarez, y Javier Quiñones. 2013. «REMEX 2013 - Simulacro conjunto España - Marruecos.» *IXL Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Española*. Reus: Nuclear España.
- Balasubramanian, B, W K Pogozelski, y T D Tullius. 1998. «DNA strand breaking by the hydroxyl radical is governed by the accessible surface areas of the hydrogen atoms of the DNA backbone.» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (17): 9738-9743.
- Barker, S, M Weinfeld, J Zheng, L Li, y D Murray. 2005. «Identification of mammalian proteins cross-linked to DNA by ionizing radiation.» *Journal of Biological Chemistry* 280 (40): 33826-33838.
- BOE. 1978. *Constitución Española*. Editado por Cortes Generales. 29 de diciembre. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1978-31229>.
- . 2015. *Ley de Enjuiciamiento Criminal*. BOE. 6 de 10. Último acceso: 2018. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1882-6036>.
- . 1995. *Ley Orgánica 10/1995 del Código Penal*. 23 de noviembre. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-25444&p=20121228&tn=1>.
- . 2007. *Ley Orgánica 10/2007, de 8 de octubre, reguladora de la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN*. 9 de octubre. Último acceso: 2019. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-17634.
- . 2011. «RD 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas.» 26 de septiembre. Último acceso: 2018. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-15723-consolidado.pdf>.
- . 2015. «RD 1086/2015, de 4 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas.» 4 de diciembre. Último acceso: 2018. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-13784.
- . 2004. *RD 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear*. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-13061>.
- . 2010. *RD 1564/2010, de 19 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo radiológico*. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-17808>.
- . 1992. *RD 407/1992, de 24 de abril, Norma Básica de Protección Civil*. 1 de mayo. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1992-9364>.
- . 1987. *RD 769/1987, de 19 de junio, sobre regulación de la Policía Judicial*. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1987-14578>.

- . 1982. *RD de 14 de septiembre de 1982 por el que se aprueba la Ley de Enjuiciamiento Criminal*. 17 de septiembre. Último acceso: 2019. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1982-6036>.
- Bohigas, Xavier. 2013. «Una ojeada al terrorismo nuclear.» *Mientras Tanto* (120): 35-52.
- Butler, John M. 2005. *Forensic DNA typing*. London: Elsevier academic press.
- . 2013. «National Institute of Standards and Technology.» *National Institute of Standards and Technology*. Último acceso: 2018. <https://www.nist.gov/news-events/events/2013/04/dna-analyst-training-mixture-interpretation>.
- Butler, John M, Eric Buel, Federica Crivellente, y Bruce R MCCord. 2004. «Forensic DNA typing by capillary electrophoresis using the ABI Prism 310 and 3100 genetic analyzers for STR analysis.» *Electrophoresis* 25 (10-11): 1397-1412.
- Cartagena Núñez, Ignacio, y Vicente Garrido Rebolledo. 2017. *El tratado para el cese de la producción de materiales fisibles (FMCT) y la parálisis de la conferencia de desarme*. Madrid: Tesis Doctoral. Universidad Rey Juan Carlos.
- Casillas Arias, Elvira Noemí. 2016. «Estandarización de las técnicas de revelado de huellas latentes en superficies porosas y no porosas.» *Visión criminológica-criminalística* (julio): 23-31.
- Castro del Barrio, Ricardo. 2016. *La prueba del ADN en el proceso penal: Análisis de sensibilidad de los cálculos probabilísticos*. Madrid: Universidad politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- CIEMAT. 2013. «Exposición sobre condiciones ejercicio REMEX.» Madrid.
- Colella, Michael, Andrew Parkinson, Tegan Evans, Chris Lennard, y Claude Roux. 2009. «The Recovery of Latent Fingermarks from Evidence Exposed to Ionizing Radiation.» *J. Forensic Sci.* 54 (3): 583-590.
- Colella, Michael; Logan, M; S McIntosh; SThomson. 2005. «An introduction to radiological terrorism.» *Australian Journal of Emergency Management* (20).
- Coll, Steve. 2007. *The Unthinkable*. The New Yorker. 12 de marzo. Último acceso: octubre de 2018. <https://www.newyorker.com/magazine/2007/03/12/the-unthinkable-2>.
- Consejo de Europa. 1992. «Recomendación nº R (92) 1, del Consejo de Europa sobre el uso del análisis del ácido desoxirribonucleico (ADN) dentro del marco del sistema judicial penal.» *Diario Oficial de la Comunidad Europea* (Diario Oficial de la Comunidad Europea).
- Consejo de Europa. 2009. «Resolución del Consejo relativa al intercambio de resultados de análisis de ADN.» *Diario Oficial de la Comunidad Europea* (Diario Oficial de la Comunidad Europea).
- Consejo de Europa. 2001. «Resolución del Consejo relativa al intercambio de resultados de análisis de ADN.» *Diario Oficial de la Comunidad Europea* (Diario Oficial de la Comunidad Europea).
- Consejo de Europa. 1997. «Resolución del Consejo relativa al intercambio de resultados de análisis de ADN.» *Diario Oficial de la Comunidad Europea* (Diario Oficial de la Comunidad Europea).
- Cullis, P M, Symons, y M C R. 1986. «Effects of direct radiation on deoxyribonucleic acid.» *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry* 27 (2): 93-100.
- Dextraze, M E, T Gantchev, S Girouard, y D Hunting. 2010. «DNA interstrand cross-links induced by ionizing radiation: An unsung lesion.» *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 704 (1-3): 101-107.
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias. 2013. *Consequence Report REMEX2013 Co-60 10 Tbq*. Madrid: Protección Civil.
- Dirección General. 2011. *Manual de Policía Judicial*. Guardia Civil.
- . 2014. *Orden General número 4: Reorganización de la Agrupación de Tráfico*. Madrid: Guardia Civil.
- Dognaux, Sophie, Maarten H.D. Larmuseau, Lynn Jansen, Tom Heylen, Nancy Vanderheyden, Bram Bekaert, Fabrice Noel, y Ronny Decorte. 2012. «Allele frequencies for the new European Standard Set (ESS) loci and D1S1677 in the Belgian population.» *Forensic Science International: Genetics* 6 (2): e75-e77.
- DSN. 2016. *Entrada en vigor de la Enmienda a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares*. Gobierno de España. Último acceso: 2018. <http://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/entrada-vigor-enmienda-convenci%C3%B3n-sobre-protecci%C3%B3n-f%C3%ADsica-materiales>.
- Dueñas Molina, Carlos. 2018. «La planificación en la ley 17/2015 del sistema nacional de protección civil.» *Revista digital de protección civil* (Ministerio del Interior).

- FAO; OIEA; ILO; OECD - NEA; PAHO; WHO. 1996. «International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources.» Editado por IAEA. *Safety Series* (IAEA) 115.
- Farfán Espuny, M^a José. 2004. «Introducción a la tecnología del ADN aplicada en el laboratorio forense.» *Estudios jurídicos* 3934-3957.
- Faulds, Henry. 1880. «On the skin-furrows of the hand.» *Nature* 22 (547): 605.
- Fenton, Norman, Martin Nell, y Daniel Berger. 2016. «Bayes and the Law.» *Annual Review of Statistics and its Application* 3: 51-77.
- Fernández Villarzala, Tomás, y José Antonio García Borrego. 2010. *Derecho procesal penal para la policía Judicial*. Madrid: Dickinson.
- Fricke, H, and J Hart. 1966. "Chemical Dosimetry." In *Radiation Dosimetry*, edited by F H Attix, Roesch and W C, 167-239. New York: Academic Press.
- García, O, J Alonso, J A Cano, R García, G M Luque, P Martín, I M de Yuso, S Maulini, D Parra, y I Yurrebaso. 2014. «Corrigendum to Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain.» *Forensic Science International: Genetics* 9: 192.
- García, O, J Alonso, J A Cano, R García, G M Luque, P Martín, I M de Yuso, S Maulini, D Parra, y I Yurrebaso. 2012. «Population genetic data and concordance study for the kits Identifiler, NGM, PowerPlex ESX 17 System and Investigator ESSplex in Spain.» *Forensic Science International: Genetics* 6 (2): 78-79.
- Girón y Ezpeleta, Javier. 1846. *Cartilla del Guardia Civil*. Madrid: Inspección General de la Guardia Civil.
- González Andrade, Fabricio, y M^a Begoña Martínez Jarreta. 2001. «Recolección y Conservación de muestras.» En *Técnicas Instrumentales en Genética Forense*. Zaragoza: Colección Orfila Rotger. Institución Fernando el Católico.
- González Medina, Antonio. 2012. «El análisis criminalístico del ADN: de la detección a la detención.» En *Técnicas de Investigación Criminal*. Madrid: Dykinson SL.
- González Medina, Antonio. 2012. «El análisis criminalístico del ADN: de la detección a la detención.» En *Técnicas de Investigación Criminal*. Madrid: Dykinson SL.
- Goodwin, Corey Scott. 2013. *In vitro repair of gamma-irradiated DNA for forensic analysis*. Ph D thesis. Camberra: University of Camberra.
- Guardia Civil, SEDEX-NRBQ, Unidad Técnica NRBQ. 2015. *Procedimientos Operativos de las unidades intervinientes del sistema de defensa NRBQ*. Valdemoro: Ministerio del Interior, Guardia Civil. CADEX.
- Guardia Civil, Unidad Técnica NRBQ. 2016. *Generalidades de la Defensa NRBQ*. Madrid: Ministerio del Interior-Guardia Civil.
- Hares, D R. 2012. «Expanding the CODIS core loci in the United States.» *Forensic Sci. Int. Genet.* 6 (1): 52-54.
- Herrero, J. 2010. «La explotación de la huella lofoscópica en el desarrollo de la investigación criminal.» En *Técnicas de investigación criminal*. Madrid: Dykinson s.l.
- Hoile, Rebecca. 2010. «Gamma irradiation as biological decontaminant and its effect on common fingerprint detection techniques and dna profiling.» *Journal of forensic sciences.* (55).
- Holmes-Siedle, Andrew, y Len Adams. 2002. *Handbook of Radiation Effects*. Oxford: Oxford University Press.
- Homann, Steven G, y Fernando Aluzzi. 2014. *HotSpot. Health Physics Codes, version 3.0*. Livermore, California: Lawrence Livermore National Laboratory. Último acceso: 2019. <https://nrl.llnl.gov/hotspot>.
- Hutchinson, F. 1985. "Chemical Changes Induced in DNA by Ionizing Radiation." *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology* 32: 115.
- Hutchinson, Franklin. 1985. *Chemical changes induced in DNA by ionising radiation*. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*. Amsterdam: Elsevier.
- Inmaculada Frías, Manuel López-Soto, Victoria Prieto, Ana Plata, Yolanda Torres . 2013. «Extracción de ADN a partir de restos óseos.» *Curso on line de Identificación en Genética Forense. Aspectos Técnicos y Sociales*. Universidad de Zaragoza . Sevilla (España).
- International Consortium Completes HGP. 2003. *The Human Genome Project Completion: Frequently Asked Questions*. National Human Genome Research Institute. Último acceso: 2018. <https://www.genome.gov/11006943/>.
- ISFG. 2001. *Grupo de habla española y portuguesa de la ISFG*. Último acceso: 2019. <http://www.gep-isfg.org/es/publicaciones/guias-recomendaciones-ghep-isfg.html>.

- Jefatura de Policía Judicial. 2011. «Manual de Policía Judicial de la Guardia Civil.» Confidencial, Uso restringido.
- Jeffreys, A J, V Wilson, y S L Thein. 1985. «Hypervariable 'minisatellite' regions in human DNA.» *Nature* 314: 67-73.
- Jeffreys, A J, V Wilson, y S L Thein. 1985. «Individual-specific 'fingerprints' of human DNA.» *Nature* 316 (6023): 76-79.
- Jiménez Moreno, Susana. 2013. «La prueba del ADN: Aplicaciones forenses y su tramitación.» Editado por Universidad Miguel Hernández. *Curso on line de Identificación en Genética Forense. Aspectos Técnicos y Sociales*. Alicante: Universidad Miguel Hernández.
- Kong, F, X Wang, M Ni, L Sui, y K Zhao. 2010. «The influence of DNA concentration in the experiment of DNA damage induced by 7Li ions and γ rays.» *Health* 2 (8): 962-967.
- LaboratoryInfo. 2015. *Polymerase Chain Reaction (PCR): Principle, Procedure, Components, Types and Applications*. 27 de julio. Último acceso: 2019. <https://laboratoryinfo.com/polymerase-chain-reaction-pcr/>.
- Lhomme, J, J Constant, y M Demeunynck. 1999. «Abasic DNA structure, reactivity, and recognition.» *Biopolymers* 52 (2): 65-83.
- Locard, Edmond. 1923. *Manuel de Technique Policière*. Paris: Payot.
- López Reyes, Eusebio. 2016. «La Base de Datos de ADN.» *Revista Profesional Aula* (13).
- Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. 2018. *Comunidad Europea de la Energía Atómica*. Gobierno de España. <http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnexto id=5a93579ecc1c1410VgnVCM1000001d04140aRCRD>.
- Monson, Keith L, Michael D Brandhagen Sherine Ali, Martine C Duff, Constance L Fisher, Karen K Lowe, Carna E Meyer, Maria A Roberts, Kyle R Tom, y Aaron L Washington II. 2018. «Potential Effects of Ionizing Radiation on the Evidentiary Value of DNA, Latent Fingerprints, Hair, and Fibers: A Comprehensive Review and New Results.» *Forensic Science International* 284: 2014-2018.
- Moses, Kenneth R. 2017. «SISTEMA AUTOMATIZADO DE IDENTIFICACIÓN DE HUELLAS DACTILARES (AFIS) .» En *El Libro de Referencia de las Huellas Dactilares*. Washington: Departamento de Justicia de los Estados Unidos.
- Mowatt-Larssen, Rolf. 2011. «A vindication for intelligence.» *The Boston Globe*, 4 de Mayo.
- Naciones Unidas. 2017. *La población mundial aumentará en 1000 millones para 2030*. 21 de junio. Último acceso: 2019. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>.
- NARAC. 2013. *IXP. International Exchange Program*. National Atmospheric Release Advisory Center. Último acceso: 2019. <https://ixp.llnl.gov/web/signIn.html;jsessionid=EA3BD6D3750714A0525628F3A2581155>.
- National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START). 2018. *Global Terrorism Database*. <https://www.start.umd.edu/gtd>.
- Newton, Giles. 2004. *Discovering DNA fingerprints*. WebCite. 04 de 02. Último acceso: 2018. https://www.webcitation.org/5uFbTpiUx?url=http://genome.wellcome.ac.uk/doc_wtd020877.html.
- Oficina de NNUU contra la droga y el delito, ONUDOC,. 2013. *Uso de internet con fines terroristas*. Nueva York: NNUU.
- OIEA. 2015. *Advances in nuclear forensics: Countering the evolving threat of nuclear and other radioactive material out of regulatory control*. Viena: OIEA.
- . 2005. *Categorization of radioactive sources*. IAEA Safety Standard Series Guide No.RS-G-1.9. Viena: IAEA.
- . 2010. *Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas*. Viena: OIEA.
- . 1998. *El OIEA / IAEA*. OIEA. Último acceso: 2018. <https://www.iaea.org/es/el-oiea>.
- . 2018. «IAEA incident and trafficking database (ITDB). Incidents of nuclear and other radioactive material out of regulatory control. 2017 Fact sheet.» Último acceso: 2018. <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/12/itdb-factsheet-2017.pdf>.
- . 2016. *Key Nuclear Security Agreement to Enter into Force on 8 May*. OIEA. Último acceso: 2018. <https://www.iaea.org/newscenter/news/key-nuclear-security-agreement-to-enter-into-force-on-8-may>.
- OIEA. 2015. "Nº 2-G. (rev. 1) Implementing Guide: Nuclear Forensics in Support of Investigations." In *Nuclear Security Series*, edited by IAEA. International Atomic Energy Agency.


- . 2015. *Nuclear forensic in support of investigations. Nuclear security series I No. 2-G (Rev.1)*. Viena.
- OIEA. 2013. «Nuclear Security Systems and Measures for the Detection of Nuclear and other Radioactive Material out of Regulatory Control.» *IAEA Nuclear Security Series* (21).
- . 2005. «Nuclear Security: Global Directions for the Future.» *Pro Int Conf*. Londres.
- . 2008. «Presentación ante la LXIII Sesión de la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 19 de noviembre 2008.» Último acceso: 2018. <http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2008/ebasp2008n010.html>.
- OIEA. 2014. «Radiological Crime Scene Management.» *IAEA Nuclear Security Series* (22-G).
- OIEA. 2015. «Risk Informed Approach for Nuclear Security Measures for Nuclear and other Radioactive Material out of Regulatory Control.» *IAEA Nuclear Security Series* (24-G).
- . 2006. *Technical Guidance Reference Manual. Nuclear Forensics Support*. Viena.
- OIEA y WHO. 2005. *Development of an extended framework for emergency response criteria*. OIEA. Último acceso: 2019. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1432_web.pdf.
- OXFORD. 2019. *English Oxford Living Dictionaries*. https://en.oxforddictionaries.com/definition/soft_target.
- Pascual Arnaiz, Laura, y Javier Quiñones. 2017. *Sistemas generadores de niebla para usos en seguridad y descontaminación. Aplicación al escenario nuclear-radiológico*. Madrid: UCM.
- Pogozelski, W K, y T D Tullius. 1998. «Oxidative strand scission of nucleic acids: Routes initiated by hydrogen abstraction from the sugar moiety.» *Chemical Reviews* 98 (3): 1089-1107.
- Policy, Forein. 2010. «Al Qaeda's Pursuit of Weapons of Mass Destruction.» 25 de Enero. Último acceso: 2018. <https://foreignpolicy.com/2010/01/25/al-qaeda-pursuit-of-weapons-of-mass-destruction/>.
- Pomper, Myles, y Gluck Aaron. 2016. «Promoting alternatives to high-risk radiological sources.» En *Nuclear terrorism. Countering the threat*, editado por Brecht Volders y Tom Sauer, 57-75. New York: Routledge.
- Quiñones, Javier, José Carlos Saez de Vergara, Alicia Álvarez García, J C Baeza López, y S Serrano Fernández. 2103. *REMEX-13. Simulacro Conjunto España/Marruecos*. Madrid: CIEMAT.
- Quiñones, Javier, Juan Merino, J Bruno, J Cobos, y A Martinez Esparza. 2003. «A Radiolytic modelling intercomparison exercise: Influence of alpha radiation on spent fuel alteration process.» En *The 9th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management*, 1617-1623. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- Quiñones, Javier, P P Díaz, J Merino, E Cera, J Bruno, A Martinez, y J A Esteban. 2003. «Modelling the alpha radiolytic products generation in water.» En *Workshop on Modelling the behaviour of spent fuel under repository conditions*, de Javier Quiñones, 7. Madrid: CIEMAT.
- Ramotowski, R S, y E M Regen. 2007. «Effect of electron beam irradiation on forensic evidence. 2. Analysis of writing inks on porous surfaces.» *Journal of Forensic Science* 52 (3): 604-609.
- Ramotowski, Robert S, y Erin M Regen. 2005. «The effect of electron beam irradiation on Forensic Evidence. 1. Latent print recovery on porous and non-porous surfaces.» *Journal of Forensic Sciences* 50 (2): 298-306.
- Ratha, N K, K Karu, S Chen, y A.K. Jain. 1996. «A real-time matching system for large fingerprint databases.» *The IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)* (IEEE TPAMI) 18 (799-813).
- Razskazovskiy, Y, M G Debije, y W A Bernhard. 2000. «Direct radiation damage to crystalline DNA: What is the source of unaltered base release?» *Radiation Research* 135 (4): 436-441.
- Rising, David. 2006. «Al Qaeda in Iraq beckons nuclear scientists. Also calls for kidnappings of Westerners.» *The Boston Globe*, 29 de Septiembre: 1. Último acceso: 2018. http://archive.boston.com/news/world/articles/2006/09/29/al_qaeda_in_iraq_beckons_nuclear_scientists/.
- Sanger, F, S Nicklen, y A.R. Coulson. 1977. «DNA sequencing with chain-terminating inhibitors.» *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 74 (12): 5463-5467.
- Sanger, F, y A.R. Coulson. 1975. «A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase.» *J. Mol. Biol.* 94 (3): 441-448.
- Santamaria Beltrán, Florentino. 1942. *I Congreso Español de Medicina Legal*. Madrid.
- Saw, K I, I Sesardic, N Bristol, C Ames, K Dagnall, C Ellis, F Whittaker, and B, Daniel. n.d. «Comparison of the effects of sterilisation techniques on subsequent DNA profiling.» *International Journal of Legal Medicine* 122 (1): 29.

- Schneider, Peter M. 2009. «Expansion of the European Standard set of DNA Database Loci - the current situation.» *Profiles in DNA* 12 (1): 6-7.
- Schulte-Frohlinde, D. 1986. «Mechanism of radiation-induced strand break formation in DNA and polynucleotides.» *Advances in Space Research* 6 (11): 89-96.
- Sociedad Nuclear Española. 2019. «Diccionario nuclear.» 04 de enero. <https://www.sne.es/es/recursos/diccionario-de-terminos-nucleares/radiolisis>.
- STRIDER. 2019. *STRs for identity ENFSI Reference database, v2*. <https://strider.online/frequencies>.
- Tribunal Constitucional de España. 1996. *SENTENCIA 207/1996, de 16 de diciembre*. 16 de diciembre. Último acceso: 2019. <http://hj.tribunalconstitucional.es/es/Resolucion/Show/3259>.
- United Nations Security Council. 2004. *United Nations Security Council, Committee 1540, Home Page*. 5 de Nov. Último acceso: nov de 2018. [http://undocs.org/es/S/RES/1540%20\(2004\)](http://undocs.org/es/S/RES/1540%20(2004)).
- Universidad de Arizona, traducción realizada por la Universidad de Alcalá. 2000. «El proyecto biológico- biología humana.»
- Universidad de Navarra. 2018. *Diccionario Médico online*. Último acceso: 2018. <http://www.cun.es/diccionario-medico>.
- UNODA. 1995. «Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT).» Último acceso: 1018. <https://www.un.org/disarmament/wmd/nuclear/npt/>.
- Vasquez Marías, Patricia, Marisa Garde Borao, y Begoña Martínez Jarreta. 2012. *Amplificación y tipado de marcadores genéticomoleculares de tipo microsatélites (STRs) autosómicos y gonosómicos*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Vico, A, J C Sáez de Vergara, A Álvarez, Javier Quiñones, J C Baeza, y S Serrano. 2013. «REMEX 2013 - Escenario radiológico supuesto en Algeciras y Tanger-med.» *IXL Congreso anual de la Sociedad Nuclear Española*. Reus: Nuclear España.
- Volders, Brecht, y Tom Sauer. 2016. *Nuclear Terrorism. Countering the threat*. Editado por Brecht Volders y Tom Sauer. New York: Routledge.
- Wilson-Wilde, Linzi. 2018. «The international development of forensic science standards — A review.» *Forensic Science International* 288: 1-9.
- Wordpress. s.f. *Taller en Línea TIC "Claves y oportunidades para su integración pedagógica"*. Último acceso: 2018. <https://adnestructurayfunciones.wordpress.com/>.
- Yamashita, Brina, y Mike French. 2003. «Desarrollo de la impresion latente.» En *Libro de referencia de las huellas dactilares*, 7-1 - 7-71. Washington: Departamento de Justicia de los Estados Unidos.
- Ziller, Jacques. 2007. «El Tratado de Prüm.» *Revista de derecho constitucional europeo* (7): 21-30. http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2004_2009/documents/dt/660/660824/660824es.pdf.

Anexos

A continuación se muestran algunos de los documentos oficiales utilizadas e informes emitidos por la Guardia Civil después del análisis de la muestras forenses presentadas en este trabajo de investigación.

- Documento para la trazabilidad de la cadena de custodia de la prueba forense.
- Informe de ensayo de caracterización de muestras de ADN.
- Informe del revelado de huellas digitales en distintos tipo de soporte.

	Guardia Civil	TOMA DE INDICIOS/ MUESTRAS	Hoja 1 de 1
	Servicio de Criminalística		

DATOS DE REMISIÓN	
Diligencias Policiales:	Oficio de Remisión N°:
Procedimiento:	Hecho delictivo:
Juzgado N°:	

DATOS DE RECOGIDA		
Fecha de la toma: 26/06/2017	Hora: 11:30	IT:
Lugar de la toma: Dependencias Oficiales del Dpto. de Biología del S° de Criminalística de la Guardia Civil.		
Observaciones/Conservación:		
Responsable/s de la toma: E71177W		

IDENTIFICACIÓN DE LOS INDICIOS/MUESTRAS QUE SE REMITEN			
Identif.	Descripción	Tipo de Precinto	N° Petición/Informe (1)
1	Una botella de agua de plástico, identificada como "1".	SOBRE DE PAPEL	
2	Una botella de agua de plástico, identificada como "2".	SOBRE DE PAPEL	
3	Una botella de agua de plástico, identificada como "3".	SOBRE DE PAPEL	
4	Una botella de agua de plástico, identificada como "4".	SOBRE DE PAPEL	
5	Una botella de agua de plástico, identificada como "5".	SOBRE DE PAPEL	
6	Una llave metálica, identificada como "1".	SOBRE DE PAPEL	
7	Una llave metálica, identificada como "2".	SOBRE DE PAPEL	
8	Una llave metálica, identificada como "3".	SOBRE DE PAPEL	
9	Una llave metálica, identificada como "4".	SOBRE DE PAPEL	
10	Una llave metálica, identificada como "5".	SOBRE DE PAPEL	

(1) A rellenar por el SECRIM

ESTUDIOS QUE SE SOLICITAN

RECEPCIÓN DE INDICIOS/MUESTRAS EN EL SECRIM
Fecha:
Responsable: : N° TIP (DNI), firma y sello en el reverso
Depósito hasta distribución:

RECEPCIÓN DE INDICIOS/MUESTRAS EN EL DEPARTAMENTO
Fecha de distribución:

CADENA DE CUSTODIA A CUMPLIMENTAR POR EL PERSONAL QUE REALICE CUALQUIER ACTUACIÓN CON LOS INDICIOS/ MUESTRAS				
TIP y firma	Fecha	Sello de las unidades	Tipo de actuación realizada	INCIDENCIAS
E71177W	26/06/2017		Toma y envío de indicios.	
I50456A	3/07/2017		Recogida y traslado	
DNI 4025147	3/vii/17		RECOGIDA	
DNI 4025147	24/xi/17		Recogido y traslado	Materia muy frágil.
R 35127E	24/xi/17		RECOGIDA Y TRASLADO	—

OBSERVACIONES



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 1 de 9



Los Especialistas del Departamento de Biología del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil con Tarjeta de Identidad números J69401S y F13289A, por el presente Informe hacen constar:

1. ASUNTO.

El día 20 de julio de 2017 se procede a la apertura del Expediente 17/07369-01/BI con las siguientes referencias:

Unidad peticionaria: Laboratorio Central del Servicio de Criminalística de la Dirección General de la Guardia Civil.

Unidad Policial: El citado Laboratorio.

Supuesto de: Análisis de indicios irradiados.

En relación con dicho Expediente, este Departamento da resolución a lo requerido en la siguiente comunicación:

- Escrito sin número, de fecha 20 de julio de 2017.

Destinatario del presente Informe, la Unidad peticionaria.

2. INDICIOS/MUESTRAS RECIBIDAS.

17/07369/001: Dos hisopos con muestra de sangre, identificados como "1", identificados en la hoja de toma de indicios/muestras como "11".

17/07369/002: Dos hisopos con muestra de sangre, identificados como "2", identificados en la hoja de toma de indicios/muestras como "12".

17/07369/003: Dos hisopos con muestra de sangre, identificados como "3", identificados en la hoja de toma de indicios/muestras como "13".

17/07369/004: Dos hisopos con muestra de sangre, identificados como "4", identificados en la hoja de toma de indicios/muestras como "14".

17/07369/005: Dos hisopos con muestra de sangre, identificados como "5", identificados en la hoja de toma de indicios/muestras como "15".

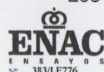
17/07369/006: Tarjeta con muestra indubitada de saliva perteneciente a Julio SERRANO CHECA (1830481A), identificada como "1", identificada en la hoja de toma de indicios/muestras como "16".

17/07369/007: Tarjeta con muestra indubitada de saliva perteneciente a Julio SERRANO CHECA (1830481A), identificada como "2", identificada en la hoja de toma de indicios/muestras como "17".

17/07369/008: Tarjeta con muestra indubitada de saliva perteneciente a Julio SERRANO CHECA (1830481A), identificada como "3", identificada en la hoja de toma de indicios/muestras como "18".



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 48356/48396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-01/BI

Página 2 de 9



17/07369/009: Tarjeta con muestra indubitada de saliva perteneciente a Julio SERRANO CHECA (1830481A), identificada como "4", identificada en la hoja de toma de indicios/muestras de indicios como "19".

17/07369/010: Tarjeta con muestra indubitada de saliva perteneciente a Julio SERRANO CHECA (1830481A), identificada como "5", identificada en la hoja de toma de indicios/muestras de indicios como "20".

17/07369/011: Una llave identificada como "1".

17/07369/012: Una llave identificada como "2".

17/07369/013: Una llave identificada como "3".

17/07369/014: Una llave identificada como "4".

17/07369/015: Una llave identificada como "5".

3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD.

3.1. Cuestiones que se plantean.

Obtención de identificadores de ADN humano.

4. RESOLUCIÓN (dio comienzo el día 21/07/17, finalizó el día 21/08/17).

En el caso de que por necesidades del servicio, los Especialistas firmantes no pudieran acudir a cualquier acto que derive de este Informe Pericial, serán sustituidos por otros Especialistas de este Departamento con igual cualificación.

4.1. Observación preliminar.

A continuación se relacionan los indicios y las muestras que han sido objeto de estudio:

17/07369/001: Dos hisopos con mancha de posible sangre. Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/001/BI/1: Se toma un hisopo.

17/07369/001/BI/2: Se toma el otro hisopo.

17/07369/002: Dos hisopos con mancha de posible sangre. Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/002/BI/1: Se toma un hisopo.

17/07369/002/BI/2: Se toma el otro hisopo.

17/07369/003: Dos hisopos con mancha de posible sangre. Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/003/BI/1: Se toma un hisopo.

17/07369/003/BI/2: Se toma el otro hisopo.



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guadán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfn. 915146000 Ext. 48206/48206; Fax 915146254. E-mail: orien-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 3 de 9



17/07369/004: Dos hisopos con mancha de posible sangre. Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/004/BI/1: Se toma un hisopo.

17/07369/004/BI/2: Se toma el otro hisopo.

17/07369/005: Dos hisopos con mancha de posible sangre (La caja se encuentra sin sellar con un orificio en un lateral, y al abrir el cartón se deshace completamente). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/005/BI/1: Se toma un hisopo.

17/07369/005/BI/2: Se toma el otro hisopo.

17/07369/006: Tarjeta con muestra indubitada perteneciente a "Julio SERRANO CHECA" (Sobre manchado exteriormente con manchas rojizas). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/006/BI/1: Troquel de la tarjeta.

17/07369/006/BI/2: Troquel de la tarjeta.

17/07369/007: Tarjeta con muestra indubitada perteneciente a "Julio SERRANO CHECA" (Sobre manchado exteriormente con manchas rojizas). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/007/BI/1: Troquel de la tarjeta.

17/07369/007/BI/2: Troquel de la tarjeta.

17/07369/008: Tarjeta con muestra indubitada perteneciente a "Julio SERRANO CHECA" (Sobre manchado exteriormente con manchas rojizas). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/008/BI/1: Troquel de la tarjeta.

17/07369/008/BI/2: Troquel de la tarjeta.

17/07369/009: Tarjeta con muestra indubitada perteneciente a "Julio SERRANO CHECA" (Sobre manchado exteriormente con manchas rojizas y desgaste amarillento). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/009/BI/1: Troquel de la tarjeta.

17/07369/009/BI/2: Troquel de la tarjeta.

17/07369/010: Tarjeta con muestra indubitada perteneciente a "Julio SERRANO CHECA" (Sobre manchado exteriormente con manchas rojizas y desgaste amarillento). Se obtienen las muestras siguientes:

17/07369/010/BI/1: Troquel de la tarjeta.

17/07369/010/BI/2: Troquel de la tarjeta.

17/07369/011: Una llave metálica con cabeza pentagonal, color gris, marca "JMA", con la inscripción "FAC-7D", de longitud aproximada cinco centímetros. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/011/BI/1: Hisopo aplicado por toda la superficie.

17/07369/012: Una llave metálica con cabeza pentagonal, color gris, marca "MINIT", con la inscripción "MTE 8I", de longitud aproximada cinco centímetros. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/012/BI/1: Hisopo aplicado por toda la superficie.

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guadán El Bueno, 116 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 48356/48356; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-01/BI

Página 4 de 9



17/07369/013: Una llave metálica con cabeza pentagonal, color gris, marca "JMA", con la inscripción "TE 8I", de longitud aproximada cinco centímetros. Se obtiene la muestra siguiente:
17/07369/013/BI/1: Hisopo aplicado por toda la superficie.

17/07369/014: Una llave metálica con cabeza pentagonal, color gris, marca "CVL", con la inscripción "005202Y", de longitud aproximada cuatro centímetros y medio. Se obtiene la muestra siguiente:
17/07369/014/BI/1: Hisopo aplicado por toda la superficie.

17/07369/015: Una llave metálica con cabeza pentagonal, color gris, marca "MINIT", con la inscripción "JMA FAC11D", de longitud aproximada seis centímetros. Se obtiene la muestra siguiente:
17/07369/015/BI/1: Hisopo aplicado por toda la superficie.

4.2. Análisis realizados.

Se relacionan los ensayos realizados sobre las muestras obtenidas de los distintos indicios dentro del Alcance de Acreditación (Expediente ENAC N° 383/LE776), y en los que se realizan controles negativos y/o positivos de acuerdo con el Plan y Procedimiento General (PG-10) sobre la evaluación de la calidad de los ensayos.

Análisis preliminares.-

Se han realizado Tests de orientación y de certeza para detección de sangre y/o semen, incluidos dentro del Alcance de Acreditación (IT-BI-03, IT-BI-63, IT-BI-61 y IT-BI-05, IT-BI-06).

Determinación de polimorfismos de ADN.-

Se efectúan secuencialmente las técnicas de análisis armonizadas, ensayadas y aprobadas científicamente, de extracción (IT-BI-10, IT-BI-11, IT-BI-18, IT-BI-20, IT-BI-73) y cuantificación de ADN (IT-BI-57, IT-BI-69) y de amplificación y detección de identificadores de ADN nuclear (autosómico y/o cromosoma Y) y/o mitocondrial, utilizando reactivos comerciales y en algunos casos, equipos semiautomáticos, previamente validados internamente (IT-BI-29, IT-BI-50, IT-BI-70, IT-BI-74, IT-BI-76, IT-BI-77, IT-BI-84, IT-BI-95).

La detección de los identificadores de ADN se realiza mediante instrumentos analíticos específicos (secuenciadores automáticos), que permiten determinar el perfil genético (o genotipo) de los siguientes identificadores:

- Análisis de ADN autosómico: Se estudian marcadores de tipo STR o microsatélite, entre ellos, los del Conjunto de Normas Europeas de Loci (European Standard Set o ESS) (IT-BI-54, IT-BI-78, IT-BI-80, IT-BI-84, IT-BI-85, IT-BI-95, IT-BI-96).



4.3. Resultados obtenidos.

Diagnóstico para sangre humana, Test de certeza (IT-BI-61):

➤ Resultado positivo:	17/07369/001/BI/1,	17/07369/001/BI/2,
	17/07369/002/BI/1,	17/07369/002/BI/2,
	17/07369/003/BI/2,	17/07369/003/BI/1,
	17/07369/004/BI/1,	17/07369/004/BI/2,
	17/07369/005/BI/1 y 17/07369/005/BI/2.	

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guardia El Bueno, 118 - 28003 Madrid Tfn. 915146000 Ext. 48356/48396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 5 de 9



No se han obtenido resultado positivo en el proceso de cuantificación de ADN para las muestras: 17/07369/005/BI/1, 17/07369/005/BI/2, 17/07369/014/BI/1 y 17/07369/015/BI/1, a pesar de ello se continúan los análisis.

Se ha realizado un análisis exhaustivo de la calidad de los perfiles genéticos. Para ello, se adjunta cuadro de resultados (mapa de calor) en el apartado de Anexos.

Se han clasificado los perfiles genéticos en tres tipos:

- perfil genético completo, entendiendo por éstos la presencia de todos los marcadores correctos (22 marcadores + el marcador para la determinación de sexo, la Amelogenina). En las muestras /001/BI/1, /001/BI/2 (hisopos aplicados en sangre identificados como "1"), /002/BI/1, /002/BI/2 (hisopos aplicados en sangre identificados como "2"), /003/BI/1, /003/BI/2 (hisopos aplicados en sangre identificados como "3"), /006/BI/1, /006/BI/2 (Tarjeta identificada como "1"), /007/BI/1, /007/BI/2 (Tarjeta identificada como "2"), /008/BI/1, /008/BI/2 (Tarjeta identificada como "3") y /012/BI/1 (Llave identificada como "2").
- perfil genético parcial, perfiles no completos o con algún marcador incorrecto pero que cuentan con el mínimo de marcadores correctos (9 marcadores + el marcador para la determinación de sexo, la Amelogenina) para incluir en la Base de Datos de Interés Criminal. En las muestras /004/BI/1(p), /004/BI/2(p) (hisopos aplicados en sangre identificados como "4"), /011/BI/1(p) (Llave identificada como "1") y /013/BI/1(p) (Llave identificada como "3").
- No perfil, perfiles genéticos que no se han obtenido resultado o perfiles genéticos parciales con menos de 9 marcadores. En las muestras /005/BI/1, /005/BI/2 (hisopos aplicados en sangre identificados como "5"), /009/BI/1, /009/BI/2 (Tarjeta identificada como "4"), /010/BI/1, /010/BI/2 (Tarjeta identificada como "5"), /014/BI/1 (Llave identificada como "4") y /015/BI/1 (Llave identificada como "5").

(p): perfil genético parcial.

Ver Anexo de tabla de resultados.

4.4. Consulta a Bases de Datos. (*)

Los identificadores de ADN indubitados para descarte se inscriben en la Base de Datos de ADN de interés criminal de la Guardia Civil (ADNIC) para la detección y control de eventuales contaminaciones durante cualquiera de las fases del proceso forense desde su toma.

4.5 Interpretación de los resultados.

Comparación de perfiles genéticos de ADN, a través de un cálculo de probabilidades para los distintos marcadores, tomando como base las frecuencias alélicas de la población de referencia en cada caso, que figuran en publicaciones científicas que se gestionan como documentación externa en nuestro Sistema de Calidad (IT-BI-47).

Para aquellas muestras en las que se ha obtenido el perfil genético completo (21 marcadores, se excluye el marcador asociado al sexo), se realiza el cálculo estadístico del perfil genético indubitado de Julio SERRANO CHECA obteniéndose que existen,

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28005 Madrid Tfno. 915146866 Ext. 48396-48399; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PQ-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 6 de 9



aproximadamente, $1.48\text{E}-28$ probabilidades de obtener el mismo perfil genético de dicha persona, si se toma otra persona al azar, no relacionada biológicamente, de la población de referencia. La razón de verosimilitudes (Likelihood Ratio) es alrededor de $6.76\text{E}+27$.

Para aquellas muestras en las que se ha obtenido el perfil genético parcial (10 marcadores), se realiza el cálculo estadístico del perfil genético indubitado de Julio SERRANO CHECA obteniéndose que existen, aproximadamente, $5.50\text{E}-12$ probabilidades de obtener el mismo perfil genético de dicha persona, si se toma otra persona al azar, no relacionada biológicamente, de la población de referencia. La razón de verosimilitudes (Likelihood Ratio) es alrededor de $1.82\text{E}+11$.

5. SITUACIÓN DE LOS INDICIOS/MUESTRAS.

Los indicios /011, /012, /013, /014 y /015, se devuelven a la Unidad peticionaria, mediante el recibo de indicios/muestras (formato PG-07/04) que se adjunta.

Los demás indicios han sido consumidos durante el proceso de estudio.

6. CONCLUSIONES.

El presente Informe se concluye en los siguientes términos:

- De sangre presente en los hisopos identificados como "1", "2", "3" y "4", además de otros restos orgánicos en las tarjetas identificadas como "1", "2", "3" y en las llaves identificadas como "1", "2", "3", se ha obtenido el perfil genético indubitado para descarte de Julio SERRANO CHECA.
- Del estudio de ADN de los hisopos aplicados en sangre identificados como "5", de las tarjetas identificadas como "4" y "5" y en las llaves identificadas como "4" y "5", no se ha obtenido resultado positivo.



Dado en Madrid el día

29 AGO 2017



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 46356/46396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-01/BI

Página 7 de 9

**ANEXO**

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146010 Ext. 48336/48336; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 8 de 9



TABLA DE RESULTADOS

	perfil 1	perfil 2	perfil 3	perfil 4
D2S1338	16 17			
VWA	16 17			
D16S539	9 13			
CSF1PO	9 10			
TPQX	8 9			
Y-indel	2			
AMELOGEN	X Y			
D8S1179	10 15			
D21S11	29			
D18S31	13 16			
D13S391	9			
D2S441	10 11			
D19S433	13 14			
TH01	9 9.3			
FGA	19 26			
D22S1845	14 16			
D19S16	12			
D13S317	11 12			
D7S820	8 12			
SE33	18 29.2			
D16S1248	13 14			
D151656	14 17.3			
D12S291	17 20			
D2S1338	17 19			
PENTA E				
PENTA D				

Número de informe

17/07369-01/BI

Observaciones

Perfil 1: muestras /001/BI1, /001/BI2, /002/BI1, /002/BI2, /003/BI1, /003/BI2, /004/BI1(p), /004/BI2(p), /006/BI1, /006/BI2, /007/BI1, /007/BI2, /008/BI1, /008/BI2, /011/BI1(p), /012/BI1, /013/BI1(p), (p): perfil genético parcial.



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 46356/46396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La validez de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PQ-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-01/BI

Página 9 de 9



Representación de los resultados mediante un Mapa de calor

		Marcadores del perfil genético (Globalfiler)																								
17/07369-01/BI		Muestras	D0S1268	YWA	D16S539	CSF1PO	TPOL	D0S1179	D21S11	D18S51	D16S391	D2S441	D19S433	TH01	FGA	D22S1045	D2S18	D13S317	D7S26	D8S1179	D10S1248	D13S1068	D15S3061	D2S1328		
SANGRE	17/07369/001/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/001/BI/2																									Perfil completo
	17/07369/002/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/002/BI/2																									Perfil completo
	17/07369/003/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/003/BI/2																									Perfil completo
	17/07369/004/BI/1																									Perfil parcial
	17/07369/004/BI/2																									Perfil parcial
SALIVA	17/07369/005/BI/1																									No perfil
	17/07369/005/BI/2																									No perfil
	17/07369/006/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/006/BI/2																									Perfil completo
	17/07369/007/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/007/BI/2																									Perfil completo
	17/07369/008/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/008/BI/2																									No perfil
LLAVES	17/07369/009/BI/1																									No perfil
	17/07369/009/BI/2																									No perfil
	17/07369/010/BI/1																									No perfil
	17/07369/010/BI/2																									No perfil
	17/07369/011/BI/1																									Perfil parcial
	17/07369/012/BI/1																									Perfil completo
	17/07369/013/BI/1																									Perfil parcial
17/07369/014/BI/1																									No cuantificaron	
17/07369/015/BI/1																									No cuantificaron	



■ Marcador completo
■ Perfil marcado
■ Perfil de alelo
■ Ausencia de alelo

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
 C/ Guzmán El Bueno, 119 - 28003 Madrid Tfno. 915140000 Ext. 48356/48396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
 La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
 Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-0601/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-06/BI

Página 1 de 6



Los Especialistas del Departamento de Biología del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil con Tarjeta de Identidad números P19629Y y F13289A, por el presente Informe hacen constar:

1. ASUNTO.

El día 18 de julio de 2018 se procede a la apertura del Expediente 17/07369-06/BI con las siguientes referencias:

Unidad peticionaria: Servicio de Desactivación de Explosivos y Defensa NRBO (SEDEX).

Unidad de procedencia: Muestras procedentes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Supuesto de: Análisis de indicios irradiados.

En relación con dicho Expediente, este Departamento da resolución a lo requerido en la siguiente comunicación:

- Escrito de fecha 13 de julio de 2018.

Destinatario del presente Informe, la Unidad peticionaria.

2. INDICIOS/MUESTRAS RECIBIDAS.

17/07369/036: Un tapón de color azul, identificado como "Azul 1".

17/07369/037: Un tapón de color azul, identificado como "Azul 2".

17/07369/038: Un tapón de color azul, identificado como "Azul 3".

17/07369/039: Un tapón de color azul, identificado como "Azul 4".

17/07369/040: Un tapón de color azul, identificado como "Azul 5".

17/07369/041: Un tapón de color blanco, identificado como "Blanco 1".

17/07369/042: Un tapón de color blanco, identificado como "Blanco 2".

17/07369/043: Un tapón de color blanco, identificado como "Blanco 3".

17/07369/044: Un tapón de color blanco, identificado como "Blanco 4".

17/07369/045: Un tapón de color blanco, identificado como "Blanco 5".

3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD.

3.1. Cuestiones que se plantean.

Obtención de identificadores de ADN humano.



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 118 - 28003 Madrid Tfno. 915146050 Ext. 46356/46396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12

**4. RESOLUCIÓN (dio comienzo el día 06/08/18, finalizó el día 03/09/2018).**

En el caso de que por necesidades del servicio, los Especialistas firmantes no pudieran acudir a cualquier acto que derive de este Informe Pericial, serán sustituidos por otros Especialistas de este Departamento con igual cualificación.

4.1. Observación preliminar.

Se ha realizado un examen detallado de los indicios recibidos para la localización y obtención de las muestras que fueron objeto de estudio.

A continuación se relacionan los indicios y muestras que han sido objeto de estudio:

17/07369/036: Un tapón de color azul de la marca "CENTRAL LECHERA ASTURIANA". Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/036/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/037: Un tapón de color azul de la marca "CENTRAL LECHERA ASTURIANA". Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/037/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/038: Un tapón de color azul de la marca "CENTRAL LECHERA ASTURIANA". Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/038/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/039: Un tapón de color azul de la marca "CENTRAL LECHERA ASTURIANA". Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/039/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/040: Un tapón de color azul de la marca "CENTRAL LECHERA ASTURIANA". Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/040/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/041: Un tapón de color blanco sin marca apreciable. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/041/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/042: Un tapón de color blanco sin marca apreciable. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/042/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/043: Un tapón de color blanco sin marca apreciable. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/043/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/044: Un tapón de color blanco sin marca apreciable. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/044/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

17/07369/045: Un tapón de color blanco sin marca apreciable. Se obtiene la muestra siguiente:

17/07369/045/BI/1: Se aplica un hisopo por el lateral rayado.

4.2. Análisis realizados.

Se relacionan los ensayos realizados sobre las muestras obtenidas de los distintos indicios dentro del Alcance de Acreditación (Expediente ENAC Nº 383/LE776), y en los que se realizan controles negativos y/o positivos de acuerdo con el Plan y Procedimiento General (PG-10) sobre la evaluación de la calidad de los ensayos.

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC





Determinación de polimorfismos de ADN.-

Se efectúan secuencialmente las técnicas de análisis armonizadas, ensayadas y aprobadas científicamente, de extracción (IT-BI-10, IT-BI-11, IT-BI-18, IT-BI-20, IT-BI-73) y cuantificación de ADN (IT-BI-57, IT-BI-69) y de amplificación y detección de identificadores de ADN nuclear (autosómico y/o cromosoma Y) y/o mitocondrial, utilizando reactivos comerciales y en algunos casos, equipos semiautomáticos, previamente validados internamente (IT-BI-29, IT-BI-50, IT-BI-70, IT-BI-74, IT-BI-76, IT-BI-77, IT-BI-84, IT-BI-95).

La detección de los identificadores de ADN se realiza mediante instrumentos analíticos específicos (secuenciadores automáticos), que permiten determinar el perfil genético (o genotipo) de los siguientes identificadores:

- Análisis de ADN autosómico: Se estudian marcadores de tipo STR o microsatélite, entre ellos, los del Conjunto de Normas Europeas de Loci (European Standard Set o ESS) (IT-BI-54, IT-BI-78, IT-BI-80, IT-BI-84, IT-BI-85, IT-BI-95, IT-BI-96).

4.3. Resultados obtenidos.

4.3.1 Cuantificación de ADN:

No se ha obtenido resultado positivo en el proceso de cuantificación de ADN para las muestras: 17/07369/039/BI/1, 17/07369/040/BI/1, 17/07369/043/BI/1, 17/07369/044/BI/1 y 17/07369/045/BI/1.

4.3.2 Marcadores Autosómicos:

De las muestras 17/07369/036/BI/1(p) (tapón "Azul 1"), /038/BI/1(p) (tapón "Azul 3") y /041/BI/1 (tapón "Blanco 1") se ha obtenido un mismo perfil genético dubitado de varón. Dicho perfil genético es coincidente con el perfil genético indubitado de Julio SERRANO CHECA, obtenido en nuestro anterior Informe Pericial 17/07369-01/BI.

Se han clasificado los perfiles genéticos en tres tipos:

- perfil genético completo, entendiéndose por este la presencia de todos los marcadores correctos (23 marcadores + el marcador para la determinación de sexo, la Amelogenina). En la muestra 17/07369/041/BI/1 (tapón "Blanco 1").
- perfil genético parcial, perfiles no completos o con algún marcador incorrecto pero que cuentan con el mínimo de marcadores correctos (9 marcadores + el marcador para la determinación de sexo, la Amelogenina) para incluir en la Base de Datos de Interés Criminal. En las muestras 17/07369/036/BI/1(p) (tapón "Azul 1") y /038/BI/1(p) (tapón "Azul 3").
- No perfil, perfiles genéticos que no se han obtenido resultado o perfiles genéticos parciales con menos de 9 marcadores. En las muestras 17/07369/037/BI/1 (tapón "Azul 2"), /042/BI/1 (tapón "Blanco 2").

Nota: (p): perfil genético parcial.



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



Departamento de BIOLOGÍA
C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 48356/48356; Fax 915146254; E-mail: crime-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



4.4. Consulta a Bases de Datos. (*)

Los identificadores de ADN dubitados se inscriben en la Base de Datos de ADN de interés criminal de la Guardia Civil (ADNIC) para la detección y control de eventuales contaminaciones durante cualquiera de las fases del proceso forense desde su toma.

4.5 Interpretación de los resultados.

Comparación de perfiles genéticos de ADN, a través de un cálculo de probabilidades para los distintos marcadores, tomando como base las frecuencias alélicas de la población de referencia en cada caso, que figuran en publicaciones científicas que se gestionan como documentación externa en nuestro Sistema de Calidad (IT-BI-47); DE-BI-140: GARCÍA o. ET AL. Forensic Sci Int Genet. 6(2): e78-e79(2012)).

Realizado el cálculo estadístico del perfil genético indubitado de Julio SERRANO CHECA (para los 16 marcadores concluyentes, se excluye el marcador asociado al sexo) se obtiene que la razón de verosimilitudes (Likelihood Ratio) es alrededor de $1,7161E+20$, que indica las veces que es más probable obtener dicho perfil genético si pertenece a Julio SERRANO CHECA frente a que pertenezca a otra persona cualquiera de la población de referencia, elegida al azar y no relacionada biológicamente.

5. SITUACIÓN DE LOS INDICIOS/MUESTRAS.

Todos los indicios se devuelven a la Unidad peticionaria, mediante el recibo de indicios/muestras (formato PG-07/04) que se adjunta.

6. CONCLUSIONES.

El presente Informe se concluye en los siguientes términos:

- De restos orgánicos presentes en el tapón "Azul 1", en el tapón "Azul 3" y en el tapón "Blanco 1" se ha obtenido un perfil genético de varón. Dicho perfil genético es coincidente con el perfil genético indubitado de Julio SERRANO CHECA, obtenido en nuestro anterior Informe Pericial 17/07369-01/BI.
- Del estudio de ADN de los restantes indicios no se ha obtenido resultado positivo.



Dado en Madrid el día

11 SEP. 2018

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



C/ Guzmán El Bueno, 110 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 48356/48396; Fax 915146294; E-mail: crim-biologia@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente remitidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-06/BI

Página 5 de 6



ANEXO



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

Departamento de BIOLOGÍA

C/ Guzmán El Bueno, 113 - 28003 Madrid Tfno. 915146500 Ext. 48356/48395; Fax 915146294; E-mail: cria-biologia@guardiacivil.org

La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12





INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-06/BI

Página 6 de 6



TABLA DE RESULTADOS

	perfil 1	perfil 2	perfil 3	perfil 4
D3S1358	16 17			
vWA	16 17			
D18S539	9 13			
CSF1PO	9 10			
TPOX	8 9			
Y-indel	2			
AMELOGEN	X Y			
D6S1179	10 15			
D21S11	29			
D18S51	13 16			
DYS391	9			
D2S441	10 11			
D19S433	13 14			
TH01	9 9,3			
FGA	19 26			
D22S1045	14 16			
D5S818	12			
D13S317	11 12			
D7S820	8 12			
SE33	18 29,2			
D10S1248	13 14			
D1S1656	14 17,3			
D12S391	17 20			
D2S1338	17 19			
PENTA E				
PENTA D				



Número de Informe

17/07369-06/BI

Observaciones

Perfil 1: 17/07369-036/BI1(p) (tapón "Azul 1"), /036/BI1(p) (tapón "Azul 3"),
 041/BI1 (tapón "Blanco 1"). (p): perfil genético parcial.

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



C/ Guzmán El Bueno, 118 - 28003 Madrid Tfno. 915146000 Ext. 48356/48396; Fax 915146294; E-mail: crim-biolog/m@guardiacivil.org

La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PO-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/10

Página 1 de 21



Los Especialistas del Departamento de Identificación del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil con Tarjeta de Identidad números Z02232X y V75058U, por el presente informe hacen constar:

1.- ASUNTO.

El día 20 de abril de 2018, tuvo entrada en este Laboratorio el escrito con referencia AMP/hsv, de fecha 19 de abril de 2018, dimanante del Sr. Coronel Jefe del Servicio de Desactivación de Explosivos y Defensa NRBQ, con el que se remiten diversos indicios que han sido sometidos a radiación, al objeto de revelar las huellas latentes que previamente fueron depositadas en los mismos.

En el referido escrito consta el resultado de la medición de la Tasa de Dosis de radiación de los referidos indicios.

2.- INDICIOS/MUESTRAS RECIBIDAS.

INDICIO 17/07369/031.- Caja de cartón conteniendo "papel 100gr-papel reciclado-cristal-chapa metálica-plástico". Este indicio está reseñado en la cadena de custodia como 1, imagen 1.

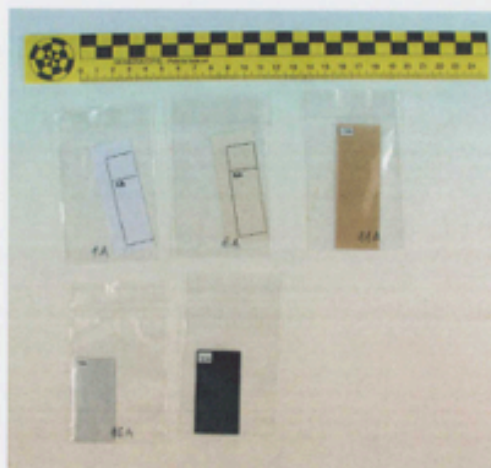


Imagen 1

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfo. 915146000 ext 48239; Fax 915146296; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-05/ID

Página 2 de 21



INDICIO 17/07369/032.- Caja de cartón conteniendo "papel 100gr-papel reciclado-cristal-chapa metálica-plástico". Este indicio está reseñado en la cadena de custodia como 2, imagen 2.



Imagen 2

INDICIO 17/07369/033.- Caja de cartón conteniendo "papel 100gr-papel reciclado-cristal-chapa metálica-plástico". Este indicio está reseñado en la cadena de custodia como 3, imagen 3.



Imagen 3

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



C/ Guardia el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/10

Página 3 de 21



INDICIO 17/07369/034.- Caja de cartón conteniendo "papel 100gr-papel reciclado-cristal-chapa metálica-plástico". Este indicio está reseñado en la cadena de custodia como 4, imagen 4.



Imagen 4

INDICIO 17/07369/035.- Caja de cartón conteniendo "papel 100gr-papel reciclado-cristal-chapa metálica-plástico". Este indicio está reseñado en la cadena de custodia como 5, imagen 5.



Imagen 5

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guardia el Buero, 119 - 28013 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PQ-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/87369-05/0

Página 4 de 21



3.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD.

3.1. Cuestiones que se plantean.

Determinar si en las muestras radiadas recibidas (mitad A) se revelan las huellas latentes depositadas y su comparación con las posibles huellas latentes reveladas en la mitad B.

3.2. Información previa.

Con la finalidad de determinar si la radiación afecta a las huellas latentes y al tratamiento para su revelado, el día 31/01/2018, se prepararon en el Laboratorio de Revelado de Huellas del Departamento de Identificación los siguientes soportes:

- PAPEL 100 gr.
- PAPEL RECICLADO.
- CRISTAL.
- METAL.
- PLÁSTICO.



En dichos soportes fueron depositadas huellas latentes por cinco donantes. Cada donante posó un dedo diferente en cada uno de los soportes. Estas huellas latentes están generadas de tal forma que el soporte se puede dividir en dos, la mitad izquierda se denomina "A" y la mitad derecha se denomina "B".

La mitad izquierda "A" de cada soporte ha sido radiada con distintas dosis de radiación y distintos tiempos de exposición y la mitad "B" ha sido conservada a temperatura ambiente. A las dos partes se le aplicará, al mismo tiempo, el oportuno tratamiento de revelado de huellas para posteriormente poder evaluar el comportamiento de cada soporte a la radiación.

La cantidad y tiempo de irradiación a la que ha sido expuesto cada soporte se presenta en la siguiente tabla:

MUESTRAS	DOSIS (KGy)	TIEMPO DE IRRADIACIÓN			
		DÍAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS
1A-6A-11A-16A-21A	10,00	0	0	12	24
2A-7A-12A-17A-22A	50,00	0	1	2	2
3A-8A-13A-18A-23A	100,00	0	2	4	5
4A-9A-14A-19A-24A	500,00	0	10	20	23
5A-10A-15A-20A-25A	1000,00	0	20	40	46

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guardía el Bueno, 119 - 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext. 48329; Fax 915146296; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 5 de 21



4.- RESOLUCIÓN. Revelado de Huellas Dio comienzo el día 11-06-18, finalizó el día 14-06-18

El revelado de huellas que se realice en el presente informe, se harán conforme a las Instrucción Técnica IT-ID-61.

4.1.- Revelado de huellas latentes

4.1.1 Tratamiento realizado a los indicios.

Al objeto de hacer aflorar aquellos fragmentos de huellas que pudieran existir de una forma latente en las superficies de los indicios objeto de estudio, se han tratado los mismos con las técnicas de revelado que se detallan en la tabla que sigue:



INDICIO	TÉCNICA DE REVELADO
INDICIO 17/07369/031	- CIANOACRILATO - DFO
INDICIO 17/07369/032	- CIANOACRILATO - DFO
INDICIO 17/07369/033	- CIANOACRILATO - DFO
INDICIO 17/07369/034	- CIANOACRILATO - DFO
INDICIO 17/07369/035	- CIANOACRILATO - DFO

4.1.2 Huellas reveladas.

Del tratamiento realizado se han obtenido los resultados que se exponen a continuación:

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 6 de 21

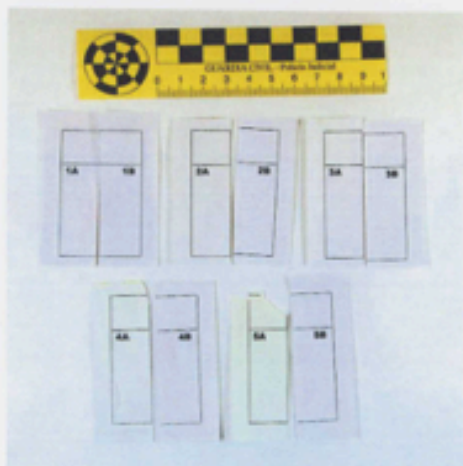


Imagen 6
Papel 100gr



Imagen 7
Papel reciclado

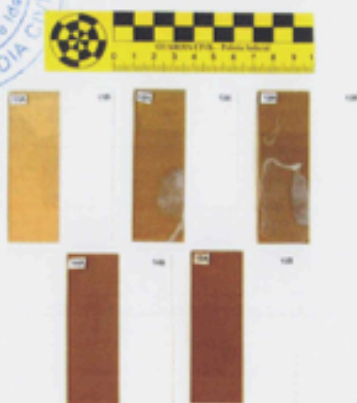


Imagen 8
Cristal

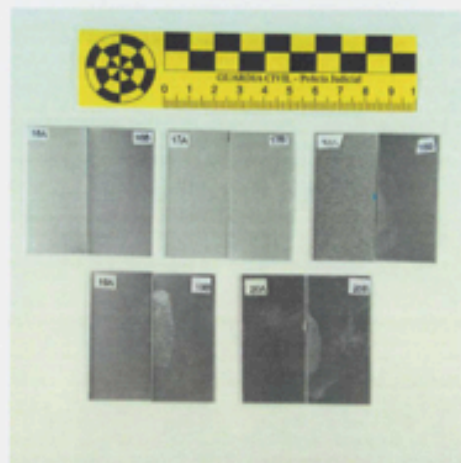


Imagen 9
Metal

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

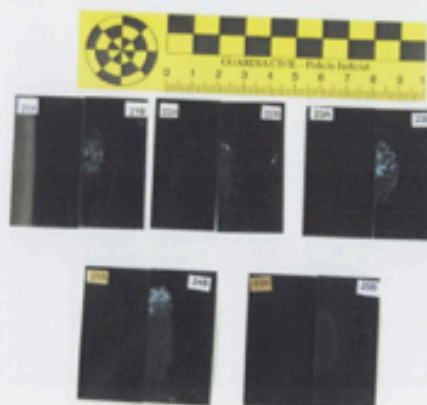


C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PG-08/01/12



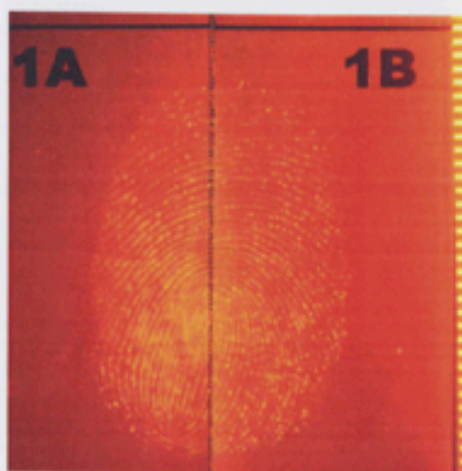
INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-05/10

Página 7 de 21

Imagen 10
Plástico**4.2.- Análisis de las huellas reveladas**

(*)

4.2.1.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 10,00 KGy DURANTE 12 minutos y 24 segundos

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**Revela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **IGUAL**Imagen 11
PAPEL 100gr

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.46235; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-0510

Página 8 de 21

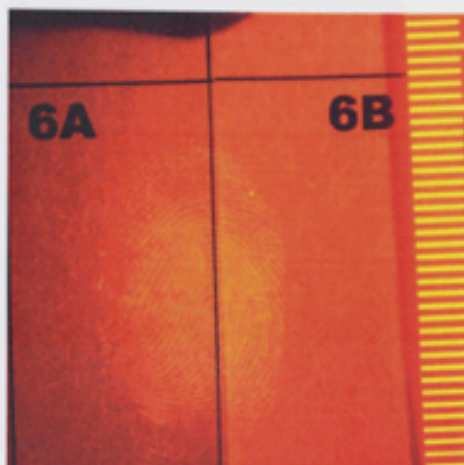


Imagen 12
PAPEL RECICLADO

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**Revela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **IGUAL**

Imagen 13
CRISTAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

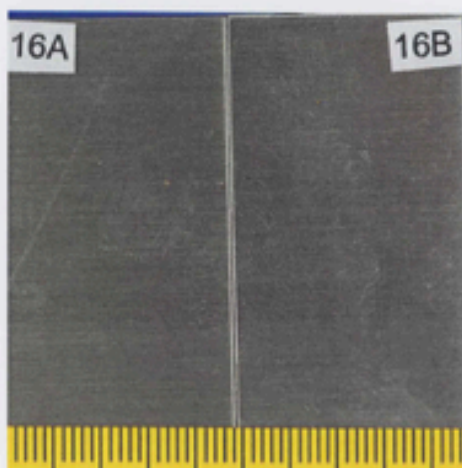
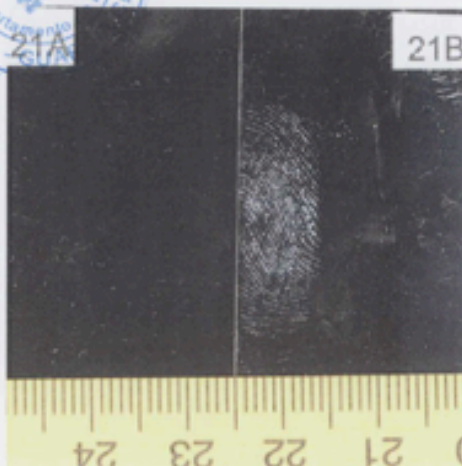


C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.42325; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios solo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-05/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-05/ID

Página 9 de 21

Imagen 14
METALTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **IGUAL**Imagen 15
PLÁSTICOTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28013 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



4.2.2.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 50,00 KGy DURANTE 1 hora 2 minutos y 2 segundos

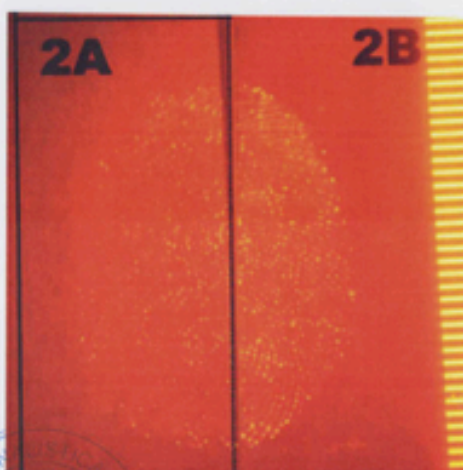


Imagen 16
PAPEL 100gr

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)



Imagen 17
PAPEL RECICLADO

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **IGUAL**

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146200 ext.48339; Fax 915146230; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 11 de 21



Imagen 18
CRISTAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **IGUAL**

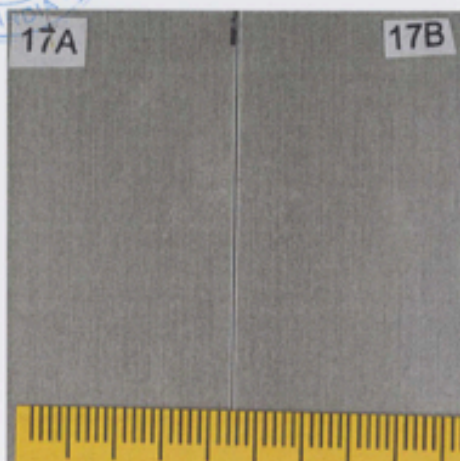


Imagen 19
METAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **NO**

Huella con mejor resultado: **Sin resultado**

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

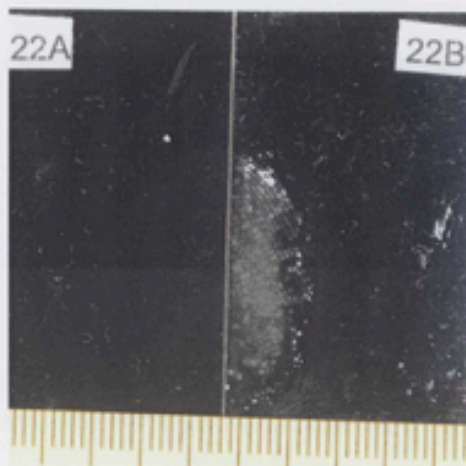


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PG-05/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-05/10

Página 12 de 21

Imagen 20
PLÁSTICOTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **IGUAL**

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48335; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 13 de 21



4.2.3.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 100,00 KGy DURANTE 2 horas 4 minutos y 5 segundos

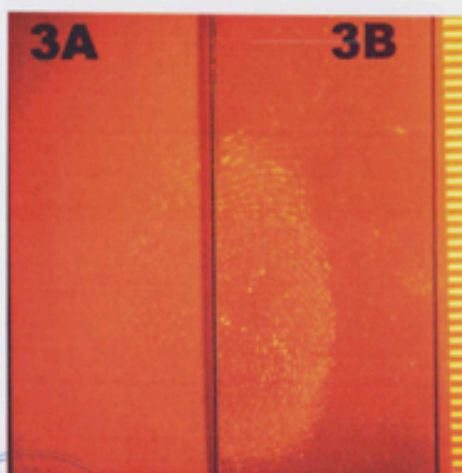


Imagen 21
PAPEL 100gr

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)



Imagen 22
PAPEL RECICLADO

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

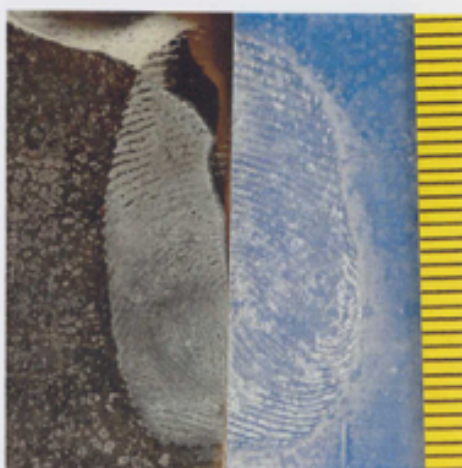
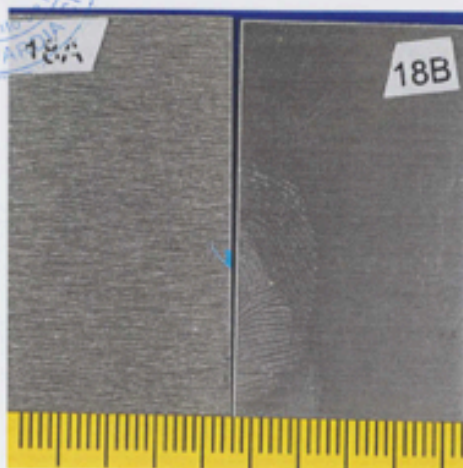


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-05/ID

Página 14 de 21

Imagen 23
CRISTALTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **IGUAL**Imagen 24
METALTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **NO**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

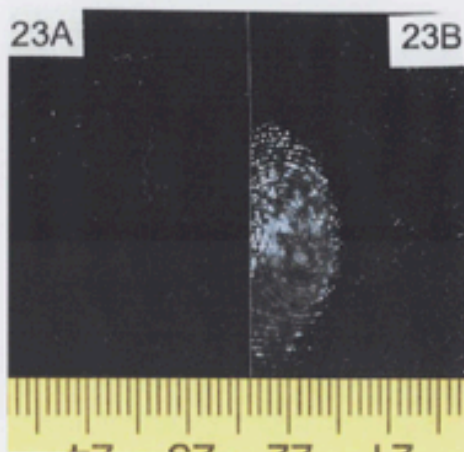


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 • 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 15 de 21



Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)



Imagen 25
PLÁSTICO

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/97369-05/0

Página 16 de 21



4.2.4.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 500,00 KGy DURANTE 10 horas,20 minutos y 23 segundos

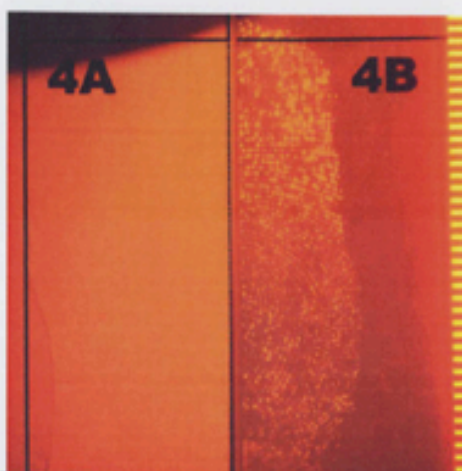


Imagen 26
PAPEL 100gr

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

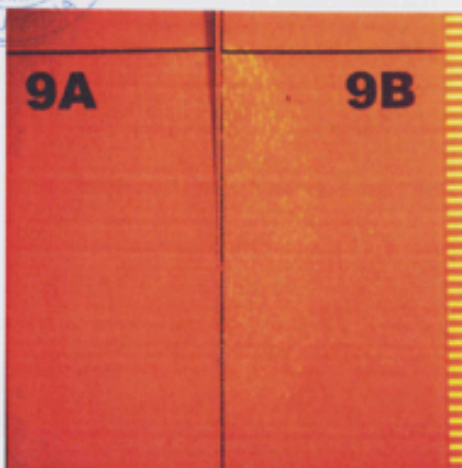


Imagen 27
PAPEL RECICLADO

Tratamiento de revelado aplicado: **DFO**

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28002 MADRID Tlfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 17 de 21

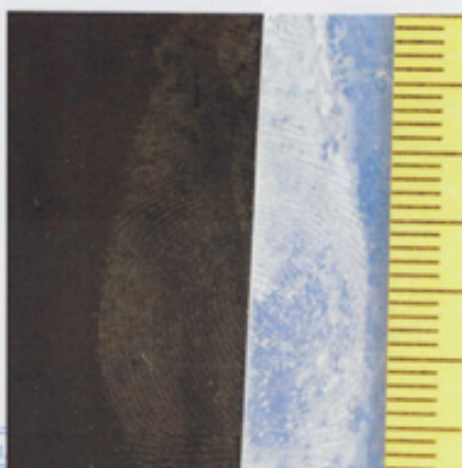


Imagen 28
CRISTAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "A"**
(radiada)

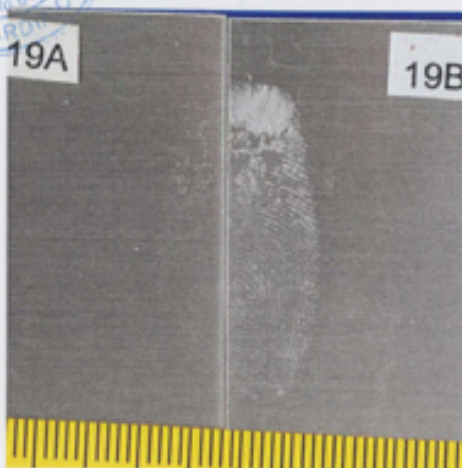


Imagen 29
METAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

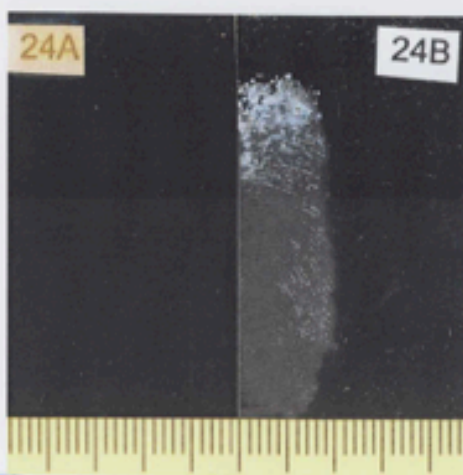


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28013 MADRID Tfno. 915146000 ext.48329; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-05/05/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 18 de 21



Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **NO**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)



Imagen 30
PLÁSTICO

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

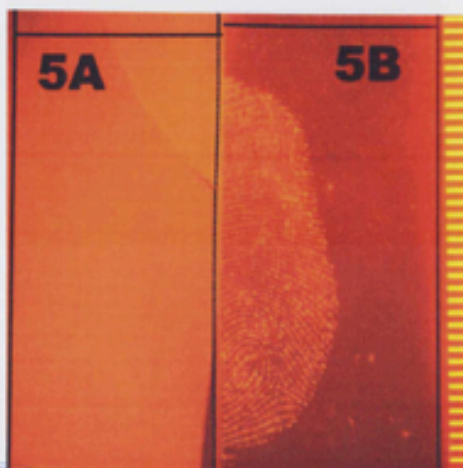


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48338; Fax 915146296; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios edo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PQ-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-0510

Página 19 de 21

**4.2.5.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 1000,00 KGy DURANTE 20 horas, 40 minutos y 46 segundos**Imagen 31
PAPEL 100grTratamiento de revelado aplicado: **DFO**Revela mitad huella "A": **NO**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)Imagen 32
PAPEL RECICLADOTratamiento de revelado aplicado: **DFO**Revela mitad huella "A": **NO**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28002 MADRID Tfn. 915146000 ext.48139; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia. PG-06/01/12



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-05/ID

Página 20 de 21

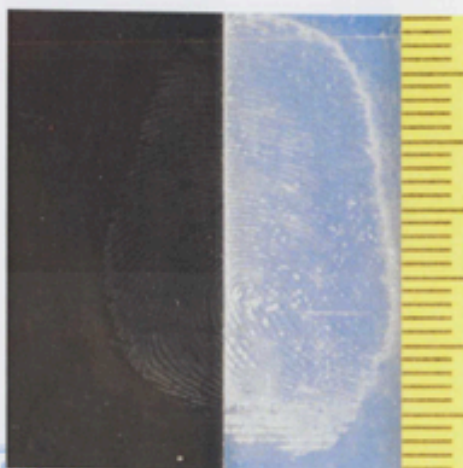


Imagen 33
CRISTAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "A"**
(radiada)

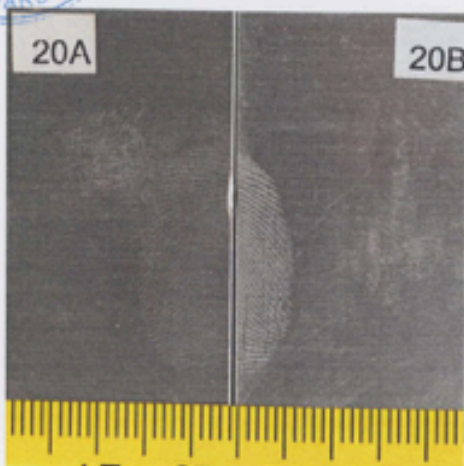


Imagen 34
METAL

Tratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATO

Revela mitad huella "A": **SI**

Revela mitad huella "B": **SI**

Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

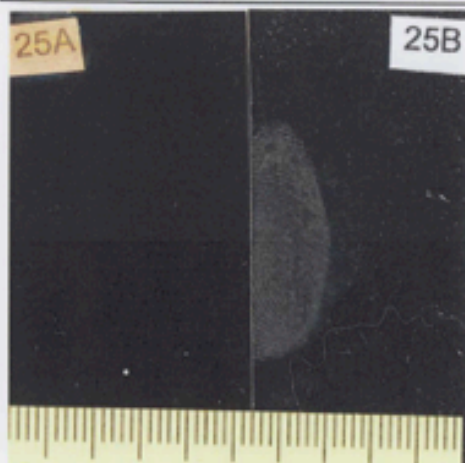


DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 170 - 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext.48328; Fax 915146296; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia PG-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-0510

Página 21 de 21

Imagen 35
PLÁSTICOTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **NO**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **MITAD "B"**
(no radiada)**5.- SITUACIÓN DE LOS INDICIOS/MUESTRAS.**

Los indicios estudiados se adjuntan al informe.

6.- CONCLUSIONES.

A la vista de lo anteriormente expuesto se da por concluido el presente informe en los términos siguientes:

Una vez tratados los indicios objeto de estudio, se han obtenido los siguientes resultados (*):

	Radiación 10,00 kGy		Radiación 50,00 kGy		Radiación 100,00 kGy		Radiación 500,00 kGy		Radiación 1000,00 kGy	
	Mitad A	Mitad B	Mitad A	Mitad B	Mitad A	Mitad B	Mitad A	Mitad B	Mitad A	Mitad B
Papel 100 gr										
Papel reciclado										
Cristal										
Chapa metálica			-	-						
Plástico										

■ Mejor resultado huella mitad A
■ Mejor resultado huella mitad B
■ Igual resultado huella en mitad A y en mitad B



Dado en Madrid el día 26 JUN 2018

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
 C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28002 MADRID Tfno. 915146000 ext.48139; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
 La totalidad de los análisis realizados durante los estudios solo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
 Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PQ-08/01/12



INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-07/ID

Página 1 de 5



Los Especialistas del Departamento de Identificación del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil con Tarjeta de Identidad Profesional número Z02232X y V75058U, por el presente informe hacen constar:

1.- ASUNTO.

El día 27 de diciembre de 2018, tuvo entrada en este Laboratorio el escrito con referencia JATP/rgrpr, de fecha 21 de diciembre de 2018, dimanante del Sr. Capitán Jefe Interino de la Unidad Técnica NRBQ, con el que se remite un indicio que han sido sometido a radiación, al objeto de revelar las huellas latentes que previamente fueron depositadas en el mismo.

En el referido escrito consta el resultado de la medición de la Tasa de Dosis de radiación de los referidos indicios.

2.- INDICIOS/MUESTRAS RECIBIDAS.

INDICIO 17/07369/046.- Chapa metálica, imagen 1.

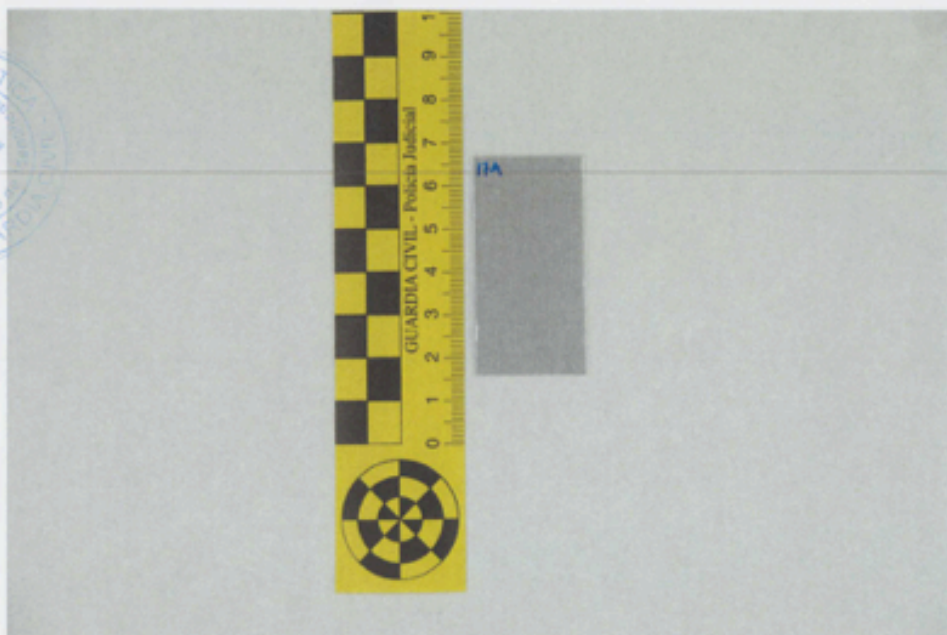


Imagen 1

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 118 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/13



INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-07/ID

Página 2 de 5



3.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD.

3.1. Cuestiones que se plantean.

Determinar si en la muestra radiada recibida (mitad A) se revelan las huellas latentes depositadas y su comparación con las posibles huellas latentes reveladas en la mitad B.

3.2. Información previa.

Con la finalidad de determinar si la radiación afecta a las huellas latentes y al tratamiento para su revelado, se preparó en el Laboratorio de Revelado de Huellas del Departamento de Identificación el siguiente soporte:

- METAL.

En dicho soporte fue depositada una huella latente. Esta huella latente está generada de tal forma que el soporte se puede dividir en dos, la mitad izquierda se denomina "A" y la mitad derecha se denomina "B".

La mitad izquierda "A" del soporte ha sido radiada y la mitad "B" ha sido conservada a temperatura ambiente. A las dos partes se le aplicará, al mismo tiempo, el oportuno tratamiento de revelado de huellas para posteriormente poder evaluar el comportamiento de cada soporte a la radiación.

La cantidad y tiempo de irradiación a la que ha sido expuesto el soporte se presenta en la siguiente tabla:



MUESTRAS	DOSIS (KGy)	TIEMPO DE IRRADIACIÓN			
		DIAS	HORAS	MINUTOS	SEGUNDOS
17A	50,00	0	1	2	2

4.- RESOLUCIÓN.

Revelado de Huellas Dio comienzo el día 11-01-19, finalizó el día 11-01-19

El revelado de huellas que se realice en el presente informe, se hará conforme a la Instrucción Técnica IT-ID-61.

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.46238; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/13

**4.1.- Revelado de huellas latentes****4.1.1 Tratamiento realizado a los indicios.**

Al objeto de hacer aflorar aquellos fragmentos de huellas que pudieran existir de una forma latente en las superficies del indicio objeto de estudio, se ha tratado el mismo con la técnica de revelado que se detalla en la tabla que sigue:

INDICIO	TÉCNICA DE REVELADO
INDICIO 17/07369/046	- CIANOACRILATO

4.1.2 Huellas reveladas.

Del tratamiento realizado se ha obtenido el resultado que se expone a continuación:

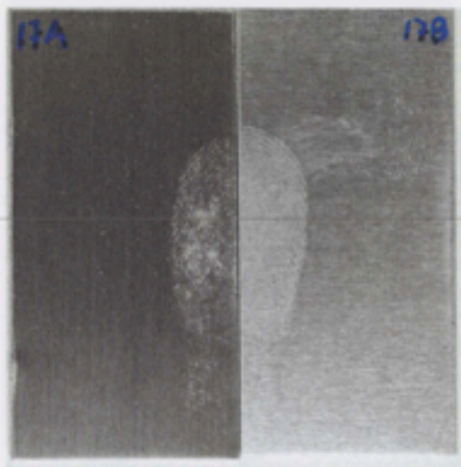


Imagen 2



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48338; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/13

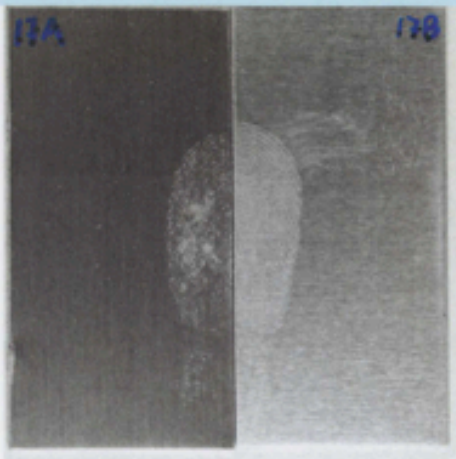


INFORME DE ENSAYO Nº 17/07369-07/ID

Página 4 de 5

**4.2.- Análisis de las huellas reveladas**

(*)

4.2.2.- Indicio con mitad "A" IRRADIADA con 50,00 KGy DURANTE 1 hora 2 minutos y 2 segundosImagen 3
METALTratamiento de revelado aplicado:
CIANOACRILATORevela mitad huella "A": **SI**Revela mitad huella "B": **SI**Huella con mejor resultado: **Igual****5.- SITUACIÓN DE LOS INDICIOS/MUESTRAS.**

El indicio estudiado se adjunta al informe.

6.- CONCLUSIONES.

A la vista de lo anteriormente expuesto se da por concluido el presente informe en los términos siguientes:

Una vez tratado el indicio objeto de estudio, se ha obtenido el siguiente resultado (*):

Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 110 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-08/01/13






INFORME DE ENSAYO N° 17/07369-07/8D

Página 5 de 5



Chapa metálica

Radiación 50,00 kGy	
Mitad A	Mitad B

-  Mejor resultado huella mitad A
 Mejor resultado huella mitad B
 Igual resultado huella en mitad A y en mitad B

Dado en Madrid el día 18 ENE 2010



Los ensayos/actividades marcados con un asterisco (*) no están amparados por la acreditación de ENAC



DEPARTAMENTO DE IDENTIFICACIÓN
C/ Guzmán el Bueno, 119 - 28003 MADRID Tfno. 915146000 ext.48339; Fax 915146290; e-mail: crim-identificacion@guardiacivil.org
La totalidad de los análisis realizados durante los estudios sólo afectan a las muestras o parte de ellas expresamente sometidas a los mismos.
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento y su utilización en ámbito ajeno a Guardia Civil y Administración de Justicia.PG-06/01/13